



TESIS - TE142599

***ISLANDING DETECTION PADA SISTEM GRID-  
PHOTOVOLTAIC YANG TERDISTRIBUSI  
MENGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL  
NETWORK***

TIRTA SAMUEL MEHANG  
07111650010013

DOSEN PEMBIMBING  
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D  
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, S.T., M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018





TESIS - TE142599

***ISLANDING DETECTION PADA SISTEM GRID-  
PHOTOVOLTAIC YANG TERDISTRIBUSI  
MENGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL  
NETWORK***

TIRTA SAMUEL MEHANG  
07111650010013

DOSEN PEMBIMBING  
DEDET CANDRA RIAWAN, ST., M.ENG., PH.DS  
VITA LYSTIANINGRUM BUDIHARTO PUTRI, S.T., M.SC., PH.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA LISTRIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018





## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Tirta Samuel Mehang  
NRP. 07111650010013

Tanggal Ujian : 10 Juli 2018  
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

1. Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP: 197311192000031001

(Pembimbing I)

2. Vita Lystianingrum B. Putri, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP: 198208292006042001

(Pembimbing II)

3. Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.  
NIP: 197007121998021001

(Penguji)

4. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.  
NIP: 196603181990101001

(Penguji)

5. Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.  
NIP: 198109052005011002

(Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP. 197002121995121001



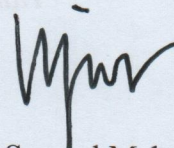
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul "**ISLANDING DETECTION PADA SISTEM GRID-PHOTOVOLTAIC YANG TERDISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Tirta Samuel Mehang

NRP. 07111650010013

ABSTRAK

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# ***ISLANDING DETECTION PADA SISTEM GRID- PHOTOVOLTAIC YANG TERDISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK***

Nama mahasiswa : Tirta Samuel Mehang  
NRP : 07111650010013  
Pembimbing : 1. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D  
2. Vita Lystianingrum B. Putri, S.T., M.Sc., Ph.D

## **ABSTRAK**

Sistem *Photovoltaic* (PV) adalah sistem energi terbarukan yang dapat dihubungkan dengan *grid* dengan tujuan untuk menambah kapasitas daya sistem. Dampak negatif pada sistem PV terhubung *grid* yaitu ketika pembangkit utama berhenti mensuplai beban sedangkan beban masih disuplai oleh sistem PV. Kasus ini didefinisikan sebagai kondisi *islanding*. Jika kondisi tersebut tidak terdeteksi, beban akan mengalami gangguan tegangan dan masalah kualitas daya.

Tesis ini menyajikan deteksi *islanding* menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN). Data pembelajaran ANN dihasilkan dari simulasi tiga skenario utama: *powermatch*, *overvoltage*, dan *undervoltage*. Identifikasi sinyal tegangan pada titik *Point Of Common Coupling* (PCC) dilakukan untuk mendeteksi apakah sistem tergolong pada kondisi *islanding* atau *non-islanding*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ANN mampu mengenali kondisi normal maupun *islanding* dengan rentang waktu deteksi antara 0,14 – 0,24 detik.

Kata kunci: *Islanding, Photovoltaic, Artificial Neural Network*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **ISLANDING DETECTION GRID-PHOTOVOLTAIC SYSTEM USING THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

By : Tirta Samuel Mehang  
Student Identity Number : 07111650010013  
Supervisor(s) : 1. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D  
2. Vita L. B. Putri, S.T., M.Sc., Ph.D

## **ABSTRACT**

Photovoltaic (PV) systems are nowadays one of the most wide-spread renewable energy systems in the network or grid with one purpose to improve the reliability of the grid. However, PV systems in the network also contribute a negative impact as well; when the main grid fails to supply the load and there is a part of the load energized by the PV systems while being isolated. This case is defined as islanding. If this condition cannot be detected, the load bus will experience voltage disturbance and power quality problem.

This thesis presents an islanding detection using Artificial Neural Network method (ANN). ANN learning data are generated from simulations under three main scenarios: power match, overvoltage, and undervoltage. Voltage signal at Point Of Common Coupling (PCC) node in load bus is classified to identify if system is in islanding condition or not. The simulation results shows that the built ANN is capable to detect both islanding and non-islanding mode with range of detection time from 0.14 to 0.24 seconds.

Key words: Islanding, Photovoltaic, Artificial Neural Network.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus karena atas berkat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini, yang berjudul : ***“ISLANDING DETECTION PADA SISTEM GRID-PHOTOVOLTAIC YANG TERDISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK”***.

Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca. Terima kasih kepada pihak yang membantu menyelesaikan penelitian ini, yaitu:

1. Kedua Orang tua, Andreas Dj. Meheng sebagai Ayah dan Adriana K. Taluhau sebagai Ibu yang telah banyak memberikan perhatian serta yang sabar untuk mendukung dan memberi semangat bagi penulis.
2. Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D dan Ibu Vita Lystianingrum Budiharto Putri, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang selalu sabar memberi banyak ilmu dan arahan, semoga bapak dan ibu sehat selalu dan diberi keberkahan ilmu.
3. Seluruh dosen dan staf di Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Saudara seperjuangan Elok, Santi, Maya, Andri, Aldi, Adam, Wahyudi, Alex dan sahabat Taurisky, Viko khususnya Agie yang selalu berbagi ilmu pengetahuan dalam menyelesaikan penelitian ini.
5. Ambu, Upik, Dea, Agung dan seluruh keluarga yang telah mendukung dalam menyelesaikan penelitian ini.
6. Pihak-pihak yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini khususnya Mas Daeng, Mas Belly dkk.

Dalam menyusun penelitian ini, penulis berharap semoga penelitian ini bermanfaat, apabila ada kekurangan, saran serta kritik penulis harapkan. Terima kasih.

Surabaya, 5 Juli 2018

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Kontribusi .....	3
1.6 Metodologi Penelitian .....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait .....	5
2.2 Sistem <i>Photovoltaic</i> Terhubung <i>Grid</i> .....	7
2.2.1 Modul <i>Photovoltaic</i> .....	7
2.2.2 <i>Inverter</i> .....	9
2.2.3 <i>Phase Locked Loop</i> .....	11
2.2.4 <i>Active Frequency Drift Method</i> .....	12
2.3 Kondisi <i>Grid Fail</i> .....	13
2.4 <i>Islanding Detection</i> .....	14
2.5 <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) .....	15
2.5.1 <i>Multiple Input Neuron</i> .....	16
2.5.2 <i>Backpropagation</i> .....	17
2.5.3 Proses Pembelajaran .....	18

BAB 3 METODE DETEKSI ISLANDING MENGGUNAKAN ANN .....	21
3.1    Proses Penelitian.....	21
3.2    Konfigurasi Beban.....	26
3.2.1    Pengaruh Daya Beban Terhadap Fenomena <i>Islanding</i> .....	26
3.2.2    Kondisi <i>Powermatch</i> .....	28
3.2.3    Kondisi <i>Overvoltage</i> .....	29
3.2.4    Kondisi <i>Undervoltage</i> .....	29
3.3    Pemodelan Sistem <i>Grid-Photovoltaic</i> yang terdistribusi .....	30
3.3.1    Pemodelan Sistem <i>Grid-Photovoltaic</i> .....	30
3.3.2    Perhitungan SPWM .....	31
3.3.3    Desain Filter LC .....	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	35
4.1    Pemodelan Sistem <i>Grid-Photovoltaic</i> .....	35
4.1.1    Kondisi <i>Powermatch</i> .....	36
4.1.2    Kondisi <i>Overvoltage</i> .....	37
4.1.3    Kondisi <i>Undervoltage</i> .....	37
4.2    Metode ANN untuk <i>Islanding Detection</i> .....	38
4.2.1    Proses Pelatihan Pada ANN .....	38
4.2.2    Hasil Deteksi Metode ANN Pada Sistem .....	40
4.3    Rangkuman.....	50
BAB 5 KESIMPULAN .....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN .....	57
DAFTAR INDEX.....	59



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Single Line Diagram Photovoltaic Terhubung Grid[8].....	6
Gambar 2.2 Algoritma Metode ANN untuk <i>islanding detection</i> .....	6
Gambar 2.3 Diagram <i>Photovoltaic</i> Terhubung <i>Grid</i> .....	7
Gambar 2.4 Penampang sebuah sel surya .....	8
Gambar 2.5 Pengaruh kuat penyinaran terhadap daya sel surya.....	8
Gambar 2.6 Diagram Dasar <i>Phase Locked Loop (PLL)</i> .....	11
Gambar 2.7 Skema Gelombang Menggunakan AFD .....	12
Gambar 2.8 <i>Grid Fail</i> Kondisi <i>Powermatch</i> .....	13
Gambar 2.9 <i>Grid Fail</i> Kondisi <i>Undervoltage</i> .....	14
Gambar 2.10 <i>Grid Fail</i> Kondisi <i>Overvoltage</i> .....	14
Gambar 2.11 Metode Deteksi <i>Islanding</i> .....	15
Gambar 2.12 Bentuk Dasar <i>Neuron</i> .....	16
Gambar 2.13 <i>Multiple Input Neuron</i> .....	16
Gambar 2.14 Arsitektur <i>Artificial Neural Network</i> .....	18
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Pemodelan ANN Sistem <i>Islanding</i> .....	21
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> komputasi ANN pada sistem .....	23
Gambar 3.3 Input dan Output dari ANN.....	24
Gambar 3.4 Perancangan ANN untuk deteksi <i>islanding</i> .....	24
Gambar 3.5 <i>Single Input</i> menjadi <i>Multi Input ANN</i> .....	26
Gambar 3.6 Sistem Sebelum <i>Islanding</i> (kiri) dan Sesudah <i>Islanding</i> (kanan) .....	27
Gambar 3.7 Pemodelan Sistem <i>Grid-Photovoltaic</i> yang Terdistribusi.....	31
Gambar 3.8 Sinyal <i>switching SPWM</i> pada <i>inverter</i> .....	31
Gambar 3.9 <i>Single Phase Filter LC</i> pada <i>output Inverter</i> .....	33
Gambar 4.1 Pemodelan Sistem <i>Grid-Photovoltaic</i> .....	35
Gambar 4.2 Hasil Simulasi Kondisi Beban Resistif <i>Powermatch</i> .....	36
Gambar 4.3 Hasil Simulasi Kondisi beban Resistif <i>Overvoltage</i> .....	37
Gambar 4.4 Hasil Simulasi Kondisi beban Resistif <i>Undervoltage</i> .....	37
Gambar 4.5 Data Pelatihan Pada ANN .....	38
Gambar 4.6 Kurva <i>Best Performen Validasi</i> .....	39
Gambar 4.7 Kurva Kesesuaian Target ANN.....	40
Gambar 4.10 (a) Hasil Deteksi <i>Islanding</i> ANN (B) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi <i>Powermatch</i> .....	41
Gambar 4.11 (a) Daya <i>Grid</i> (b) Daya <i>Photovoltaic</i> (c) Daya Beban pada Kondisi <i>Powermatch</i> .....	41
Gambar 4.12 (a) Hasil Deteksi <i>Islanding</i> ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi <i>Overvoltage</i> , Beban Resistif .....	42
Gambar 4.13 (a) Daya <i>grid</i> (b) Daya <i>Photovoltaic</i> (c) Daya Beban pada Kondisi <i>Overvoltage</i> , Beban Resistif.....	43
Gambar 4.14 (a) Hasil Deteksi <i>Islanding</i> ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi <i>Overvoltage</i> , Beban Kapasitif .....	43

Gambar 4.15 (a) Daya <i>grid</i> (b) Daya <i>Photovoltaic</i> (c) Daya Beban pada Kondisi <i>Overvoltage</i> , Beban Kapasitif.....	44
Gambar 4.16 (a) Hasil Deteksi <i>Islanding</i> ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi <i>Overvoltage</i> , Beban Induktif.....	45
Gambar 4. 17 (a) Daya <i>grid</i> (b) Daya <i>Photovoltaic</i> (c) Daya Beban pada Kondisi <i>Overvoltage</i> , Beban Induktif .....	45
Gambar 4.18 (a) Hasil Deteksi <i>Islanding</i> ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi <i>Undervoltage</i> , Beban Resistif .....	46
Gambar 4. 19 (a) Daya <i>grid</i> (b) Daya <i>Photovoltaic</i> (c) Daya Beban pada Kondisi <i>Undervoltage</i> , Beban Resistif.....	47
Gambar 4.20 (a) Hasil Deteksi <i>Islanding</i> ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi <i>Undervoltage</i> , Beban Kapasitif.....	47
Gambar 4. 21 (a) Daya <i>grid</i> (b) Daya <i>Photovoltaic</i> (c) Daya Beban pada Kondisi <i>Undervoltage</i> , Beban Kapasitif .....	48
Gambar 4.22 (a) Hasil Deteksi <i>Islanding</i> ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi <i>Undervoltage</i> , Beban Induktif.....	48
Gambar 4. 23 (a) Daya <i>grid</i> (b) Daya <i>Photovoltaic</i> (c) Daya Beban pada Kondisi <i>Undervoltage</i> , Beban Induktif .....	49
Gambar 4.24 (a) Hasil Deteksi <i>Islanding</i> ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi Perubahan Daya <i>Inverter</i> (c) Hasil Pengukuran Arus Inverter.....	49
Gambar 4.25 (a) Daya <i>grid</i> (b) Daya <i>Photovoltaic</i> (c) Daya Beban pada Kondisi Perubahan Daya Pada <i>Inverter</i> .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Konfigurasi Beban <i>Powermatch</i> .....	28
Tabel 3.2 Konfigurasi Beban <i>Overvoltage</i> .....	29
Tabel 3.4 Konfigurasi Beban <i>Undervoltage</i> .....	30
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Kondisi <i>Powermatch</i> .....	50
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Kondisi <i>Overvoltage</i> .....	51
Tabel 4.3 Hasil Simulasi Kondisi <i>Undervoltage</i> .....	51

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik yang sering digunakan pada saat ini sangat beragam. Diantara adalah pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga matahari, pembangkit listrik tenaga diesel, pembangkit listrik tenaga uap. Sebuah jaringan listrik dapat dihubungkan dengan beberapa macam pembangkit listrik. Keuntungan yang didapatkan adalah dapat menggunakan potensi atau sumber tenaga listrik yang ada pada sebuah wilayah sehingga menghasilkan daya listrik yang semakin besar. Salah satunya adalah sistem *photovoltaic* terhubung dengan *grid*. *Photovoltaic* diletakkan tersebar guna memperbaiki tegangan dan memenuhi kebutuhan daya.

Pada sistem *photovoltaic* terhubung *grid* dibutuhkan sebuah *inverter* yang berfungsi untuk mengubah sumber DC yang didapatkan sehingga menghasilkan daya AC yang terdistribusi dengan jaringan. Sebuah pembangkit listrik yang terdistribusi dengan jaringan khusus dalam penelitian ini yaitu *photovoltaic* dipastikan memiliki pemutus (PMT). Sehingga dapat dihubungkan/diputus sewaktu-waktu. Apabila terjadi pemutusan pembangkit yang terdapat pada *grid* maka mengakibatkan beban akan disuplai sepenuhnya oleh *photovoltaic*. Hal tersebut tentunya dapat merusak beban dan peralatan dikarenakan daya *photovoltaic* dapat dibawah atau diatas daya beban saat *islanding* terjadi sehingga akan memunculkan fenomena *undervoltage/overvoltage* pada sistem. Untuk dapat mendeteksi kondisi *islanding* parameter yang dapat digunakan adalah parameter tegangan [1]. Ketika terjadi kegagalan untuk mendeteksi *islanding* maka mengakibatkan buruknya kualitas daya pada sistem, merusak peralatan dan berbahaya bagi pekerja sehingga dibutuhkan proses yang cepat untuk mendeteksi *islanding* [2]. Menurut penelitian sebelumnya waktu yang diijinkan untuk memutus *photovoltaic* ketika kondisi *islanding* yaitu 100-2000 ms. Untuk mencapai batas waktu tersebut maka digunakan beberapa metode yang dikenal sebagai metode *active* dan *passive* [3].

Metode *islanding detection* diklasifikasikan menurut teknik yang berbeda-beda atas dasar parameter yang berbeda seperti riak tegangan, *Wavelet*, *Frequency Locked Loop* (FLL) dan *Non Detection Zones* (NDZ) [4],[5]. Metode klasifikasi deteksi *islanding* menggunakan metode riak tegangan memiliki kelemahan yaitu performansi yang buruk pada sinyal yang memiliki intervensi yang tinggi [6]. Metode pergeseran frekuensi juga telah digunakan pada skema *photovoltaic* terhubung *grid*. Metode tersebut disimulasikan pada sistem dengan tambahan gangguan kemudian metode pergeseran frekuensi digunakan untuk mengambil keputusan operasi [5]. Metode *wavelet* juga telah digunakan untuk mengidentifikasi status operasi dari sistem [7].

Pada penelitian ini akan digunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) untuk mengambil keputusan deteksi *islanding* pada sistem. ANN merupakan metode yang menggunakan teknik *hybrid active-passive* dengan tujuan untuk deteksi *islanding* pada berbagai topologi [8].

## **1.2 Rumusan Masalah**

Perumusan masalah yang dibahas dalam tesis ini diantaranya harus dapat mendeteksi kondisi *islanding* supaya tidak membahayakan sistem. Berikutnya mengenai cara mengolah data tegangan *Point of Common Coupling* (PCC) menggunakan ANN agar didapat keputusan *islanding* atau tidak. Rumusan terakhir terkait hasil yang diperoleh dari metode yang digunakan.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan penelitian tesis ini antara lain adalah dapat mengolah data sinyal tegangan PCC secara online menggunakan metode ANN untuk mengenali kondisi *islanding*. Tujuan akhir adalah memperoleh hasil berupa keputusan apakah tergolong kondisi *islanding* atau tidak.

#### 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki ruang lingkup yang membatasi permasalahan yang akan dikaji. Batasan ini antara lain adalah sebagai berikut :

1. Membuat simulasi kondisi *islanding* dari berbagai jenis beban linier (resistif, induktif dan kapasitif).
2. Photovoltaic menggunakan *Voltage Source Inverter* (VSI) yang terhubung *grid*.
3. Metode yang digunakan adalah *Artificial Neural Network* (ANN).

#### 1.5 Kontribusi

Kontribusi yang diharapkan dari hasil penelitian tesis adalah dapat memodelkan sistem inverter terhubung *grid* dan dilengkapi dengan metode deteksi *islanding* berbasis ANN secara *online*.

#### 1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Studi Literatur

Melakukan pengumpulan literatur yang dibutuhkan untuk pengerjaan dan penelitian-penelitian yang terkait dengan sistem *islanding detection*. Literatur yang digunakan meliputi jurnal, *proceeding* dan *text book*.

##### 1. Perancangan Sistem

Perancangan sistem melibatkan beberapa eksperimen seperti melakukan perencanaan pembebanan, perancangan sistem pengukuran, dan pengolahan sinyal.

##### 2. Pengujian Sistem

Segala parameter yang sudah dibuat saat perancangan sistem akan diuji sehingga diperoleh data-data sinyal tegangan pada titik PCC.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

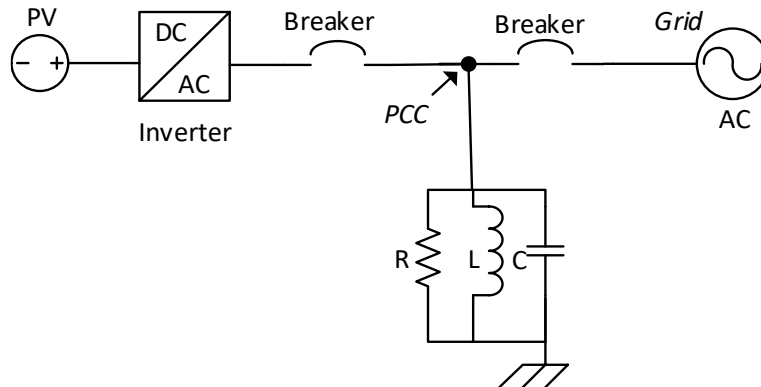
Meskipun *photovoltaic* mempunyai peran yang baik dalam sebuah sistem kelistrikan, namun kondisi *islanding* harus dideteksi untuk mendapatkan peningkatan kualitas daya, keandalan sistem tenaga, keamanan pekerja dan sistem tenaga listrik yang aman [2]. Keadaan *islanding* adalah ketika bagian dari sistem distribusi kelistrikan terisolasi dari pasokan utama dan tetap diberi energi oleh *Distributed Generation* (DG). Penelitian ini menggunakan *photovoltaic* sebagai DG.

Masalah utama dari sebuah sistem *photovoltaic* yang terdistribusi dengan jaringan adalah keamanan. *Islanding* adalah keadaan dimana *photovoltaic* terus memberi daya meskipun sumber/*grid* tidak lagi ada. Hal tersebut dapat merusak *photovoltaic* yang terdistribusi dan atau dapat merusak beban. Oleh karena sistem *photovoltaic* yang terhubung dengan jaringan harus mendeteksi keadaan *islanding* sehingga dapat mengambil keputusan untuk segera berhenti memproduksi tenaga listrik *photovoltaic* dengan cara memutuskan *circuit breaker*.

#### **2.1 Kajian Penelitian Terkait**

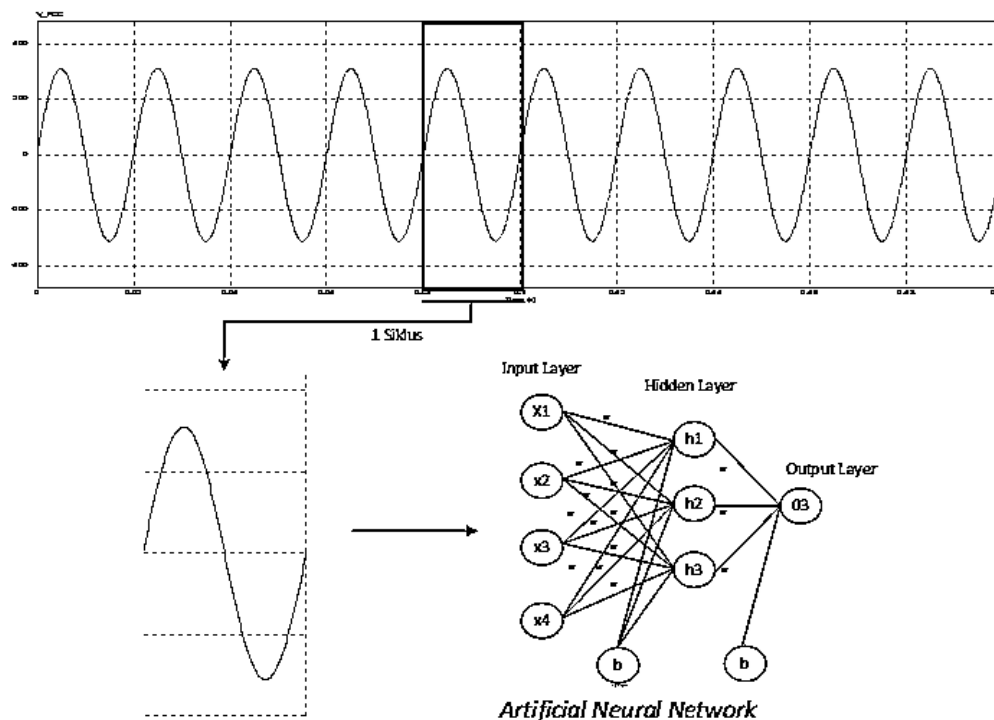
Secara umum ada dua metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi *islanding* yaitu aktif dan pasif. Pada metode aktif, gangguan disuntikkan dan respon dari hasil suntikkan tersebut akan dipantau [9]. Menurut penelitian sebelumnya metode tersebut dapat menurunkan kualitas daya. Sedangkan metode pasif didasarkan pada parameter pengukuran dan dapat menetapkan ambang batas pada parameter yang telah diukur. Alasan utama penggunaan metode pasif adalah memiliki ambang batas yang sesuai sehingga algoritma deteksi *islanding* tidak beroperasi pada *noisy conditions* [9],[10].

Pada penelitian sebelumnya terkait deteksi *islanding* dengan ANN menggunakan konfigurasi jaringan seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Single Line Diagram Photovoltaic Terhubung Grid[8]

Data *sampling* tegangan setiap siklus yang diukur pada titik PCC selanjutnya diumpun kepada ANN seperti terlihat pada Gambar 2.2 adalah sebagai berikut.



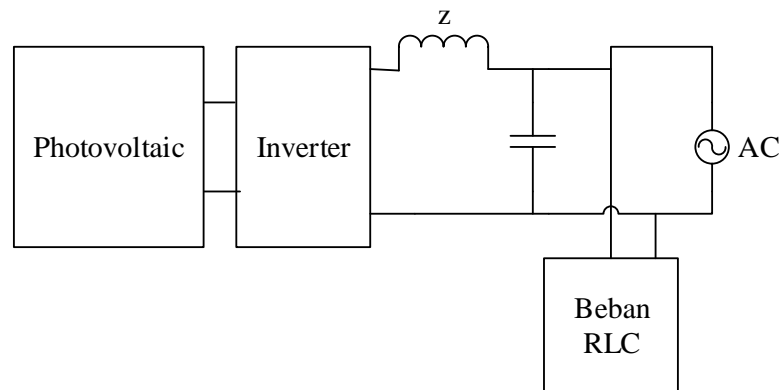
Gambar 2.2 Algoritma Metode ANN untuk *islanding detection*

Pada Gambar 2.2 terlihat tahap-tahap pemrosesan awal pengambilan *sampling* [8]. Hasil ANN berupa pola yang kemudian dihitung untuk mengetahui kondisi tersebut *islanding* atau tidak. Jika hasil perhitungan menyatakan kondisi *islanding*, maka sistem DG akan terputus tetapi jika tidak, maka akan terjadi pengulangan pengambilan *sampling* yang dilakukan secara terus menerus.

Sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode *hybrid* antara *active method* dan *artificial intelegent method*. Dengan penerapan kedua metode ini diharapkan menghasilkan hasil deteksi kondisi *islanding* yang lebih baik dari penelitian sebelumnya.

## 2.2 Sistem Photovoltaic Terhubung Grid

Penggunaan *photovoltaic* terhubung *grid* harus memperhitungkan beberapa aturan. Secara umum aturan untuk menyinkronkan kedua pembangkit atau lebih adalah menyamakan fasa, amplitudo tegangan dan frekuensi. Besarnya daya yang dikeluarkan oleh pembangkit disesuaikan dengan perhitungan kebutuhan beban. Berikut adalah skema diagram dasar sebuah *photovoltaic* yang terhubung *grid*.

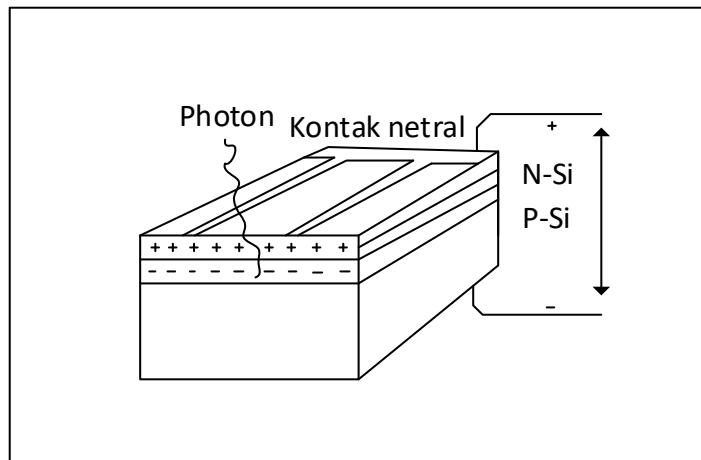


Gambar 2.3 Diagram *Photovoltaic* Terhubung *Grid*

### 2.2.1 Modul Photovoltaic

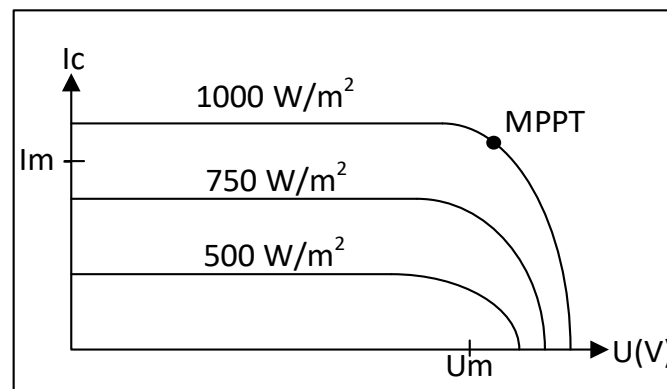
*Photovotaic* adalah sebuah alat yang bekerja mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. *photovoltaic* adalah sumber arus DC. Untuk mengkonversi keluaran DC, digunakan *inverter*. Prinsip kerja sel surya adalah ketika sinar matahari jatuh di permukaan N-Si, maka energi yang diserap sebesar

$h\nu$ , atau biasa disebut photon. Energi photon yang cukup besar dapat melepaskan elektron pada daerah bebas muatan, sehingga terjadi elektron bebas dan lubang. Proses ini akan dijelaskan pada Gambar 2.4 [12].



Gambar 2.4 Penampang sebuah sel surya

Daya yang dihasilkan oleh sel surya sangat dipengaruhi oleh besarnya kuat sinar yang diterima oleh sel surya. Pada Gambar 2.5 menunjukkan pengaruh kuat sinar terhadap daya yang dihasilkan [11].



Gambar 2.5 Pengaruh kuat penyinaran terhadap daya sel surya

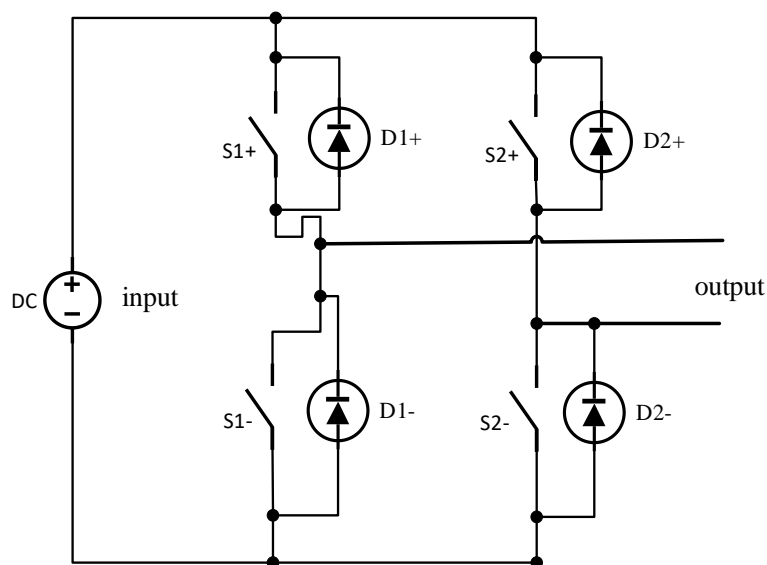
Pada Gambar 2.5 terlihat titik *Maximum Power Point* (MPP) yang merupakan titik efisiensi maksimum dan menghasilkan daya keluaran paling besar dari *solar cell*.



### 2.2.2 Inverter

Prinsip dasar penggunaan *inverter* bertujuan mengkonversikan tegangan DC menjadi AC. Pada *inverter* terjadi *switching* saklar dengan topologi bermacam-macam. Topologi yang digunakan pada sistem adalah *Current Control Voltage Sourde Inverter (CCVSI)* yang dapat mengatur arus/daya *output* inverter [12].

Ada dua tipe inverter yang paling umum digunakan, yaitu sebagai *Current Source Inverter (CSI)* dan sebagai *Voltage Source Inverter (VSI)*. VSI adalah model inverter yang disuplai sumber tegangan yang konstan, sedangkan CSI adalah model inverter yang disuplai sumber arus yang konstan. Rangkaian VSI ditunjukkan pada Gambar 2.1.



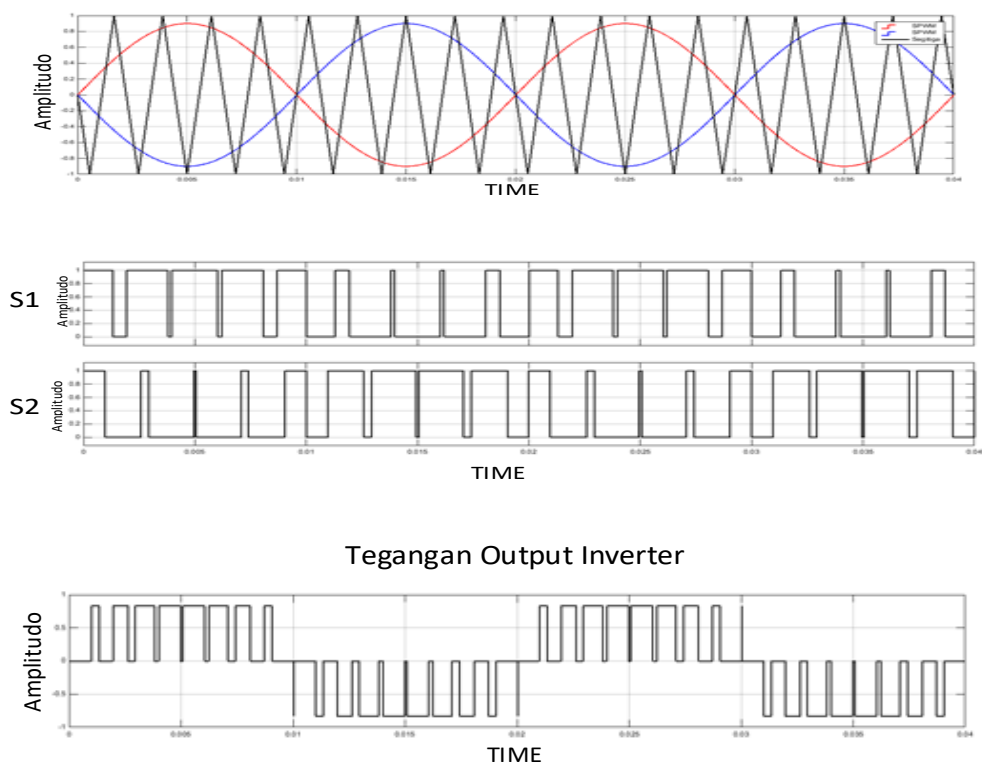
Gambar 2.1 Konfigurasi *Voltage Source Inverter* Satu Fasa

Inverter membutuhkan sinyal pensaklaran agar dapat beroperasi. SPWM adalah teknik yang paling sederhana yaitu dengan membandingkan sinyal sinusoidal sebagai sinyal modulasi/*modulation* dengan sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa/*carrier*. Kondisi pensaklaran VSI dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pensaklaran CSI satu fasa [13]

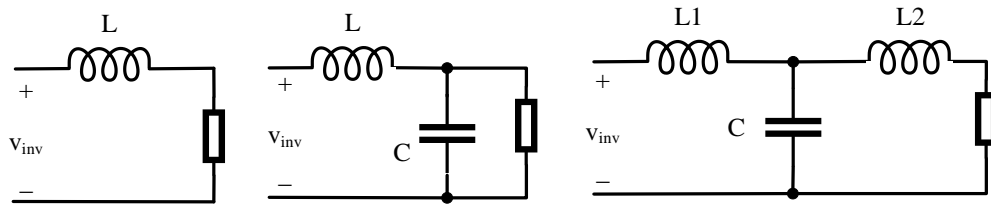
State	S1	S1-	S2	S2-	output	Komponen Konduksi	Syarat
1	1	0	0	1	$v_i$	S1+ dan S2- D1+ dan D2-	Jika $i_0 > 0$ Jika $i_0 < 0$
2	0	1	1	0	$-v_i$	D1- dan D2+ S1- dan S2+	Jika $i_0 > 0$ Jika $i_0 < 0$
3	1	0	1	0	0	S1+ dan D2+ D1+ dan S2+	Jika $i_0 > 0$ Jika $i_0 < 0$
4	0	1	0	1	0	D1- dan S2- S1- dan D2-	Jika $i_0 > 0$ Jika $i_0 < 0$
5	0	0			Tergantung S2- dan S2+	D1- D1+	Jika $i_0 > 0$ Jika $i_0 < 0$
6			0	0	Tergantung S1- dan S1+	D2+ D2-	Jika $i_0 > 0$ Jika $i_0 < 0$

Pola pensaklaran ditunjukkan pada Gambar 2.2, dengan sinyal switching untuk S1- adalah NOT dari S1+ dan sinyal switch S2- adalah NOT dari sinyal S2+.



Gambar 2.2 Pola Pensaklaran SPWM

Agar *output inverter* menjadi sinusoidal diperlukan filter *low-pass/low pass filter* (LPF) yang dipasang pada *output inverter*. Konfigurasi filter yang dapat digunakan pada VSI yaitu L filter, LC filter, dan LCL filter.

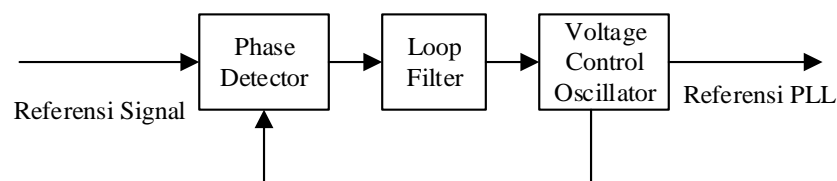


Gambar 2.3 Tipe Filter CSI

Jenis *inverter* yang digunakan adalah *Voltage Source Inverter* (VSI) yang menggunakan jenis *current control* atau yang biasa dikenal *Current Control Voltage Source Inverter* (CCVSI). Pada sistem digunakan untuk menjaga arus keluaran dari *inverter* agar mempunyai nilai keluaran sesuai dengan yang diinginkan. Sinyal yang terukur pada titik PCC akan dibandingkan dengan sinyal keluaran pada *inverter*. Hasil dari *curent control* akan digunakan untuk *switching inverter*.

### 2.2.3 Phase Locked Loop

*Phase Locked Loop* (PLL) adalah suatu mekanisme yang terdapat pada *inverter* terhubung *grid* untuk mensinkronkan fasa dari fasa terukur pada PCC dengan fasa pada keluaran *inverter*. PLL juga menghasilkan sinyal keluaran dengan frekuensi yang sama dengan sinyal masukan. Berikut adalah Gambar 2.6 diagram dasar dari suatu PLL.

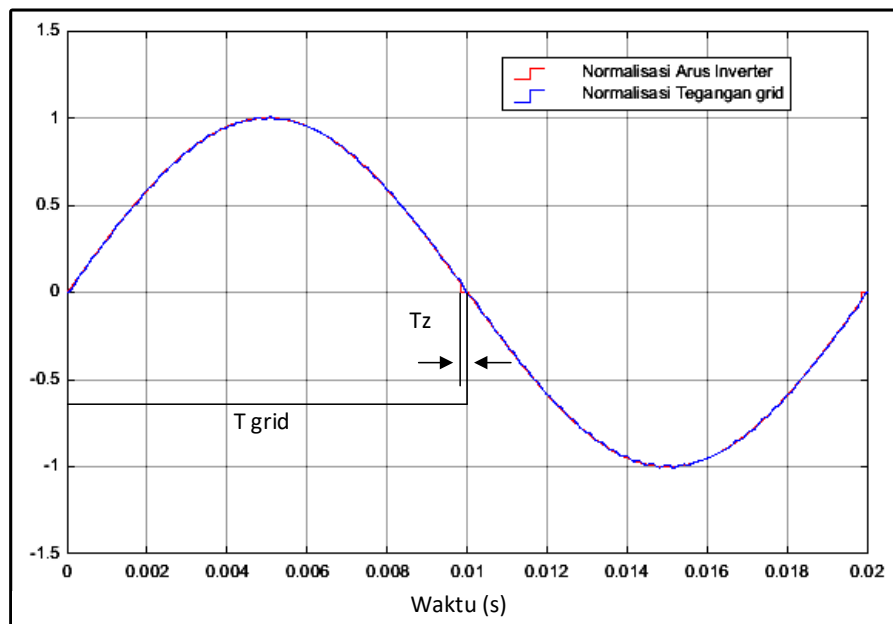


Gambar 2.6 Diagram Dasar *Phase Locked Loop* (PLL)

Pada Gambar 2.6 terlihat *phase detector (PD)* yang berfungsi untuk membandingkan sinyal keluaran PLL dengan sinyal referensi. Dari hasil PD akan diteruskan *Loop Filter (LF)* berfungsi untuk meredam sinyal frekuensi tinggi. Hasil LF akan diteruskan *Voltage Controlled Oscillator (VCO)* berfungsi untuk membangkitkan sinyal dimana nilai frekuensi ditentukan oleh besarnya tegangan VCO. Hasil keluaran dari PLL akan menghasilkan fasa yang sama dengan sinyal referensi.

#### 2.2.4 Active Frequency Drift Method

*Islanding* terjadi ketika pembangkit utama dari sistem mengalami gangguan tetapi *photovoltaic* terus mensuplai beban. Kondisi tersebut harus segera dideteksi bertujuan menjaga peralatan kelistrikan dari kerusakan yang dapat ditimbulkan. Penggunaan *active frequency drift* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendeteksi *islanding*. Pemilihan metode *active* dilakukan untuk dapat mendeteksi kondisi *powermatch* pada sistem. Berikut adalah Gambar 2.7 skema gelombang menggunakan AFD[14].



Gambar 2.7 Skema Gelombang Menggunakan AFD

Prinsip kerja deteksi *active frequency drift* adalah memberikan gangguan dengan cara menginjeksi sinyal aktif pada keluaran *inverter*. Dengan tetap menjaga THD kurang dari 5%. Persamaan arus pada metode *active* yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$cf = T_z/T_{grid} \quad (2.1)$$

Dimana :

Cf = *Chopping fraction*

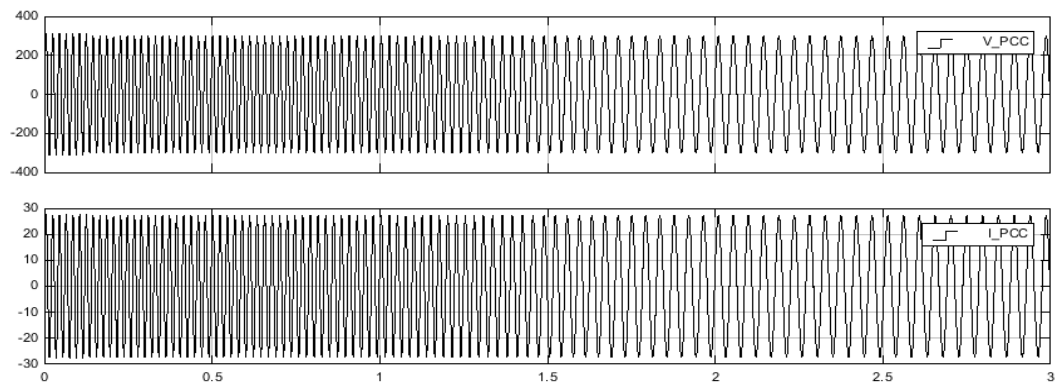
Tx = Pergeseran frekuensi

T<sub>grid</sub> = Setengah siklus sinyal tegangan

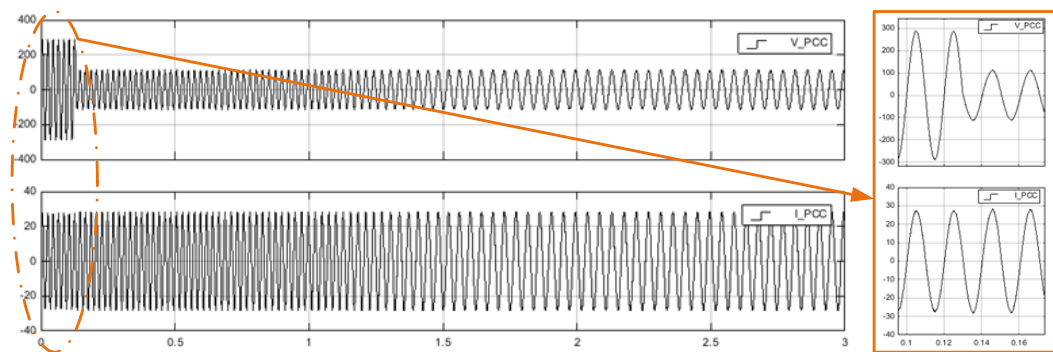
Besarnya gangguan pada metode AFD ditentukan oleh besarnya nilai pergeseran frekuensi.

### 2.3 Kondisi Grid Fail

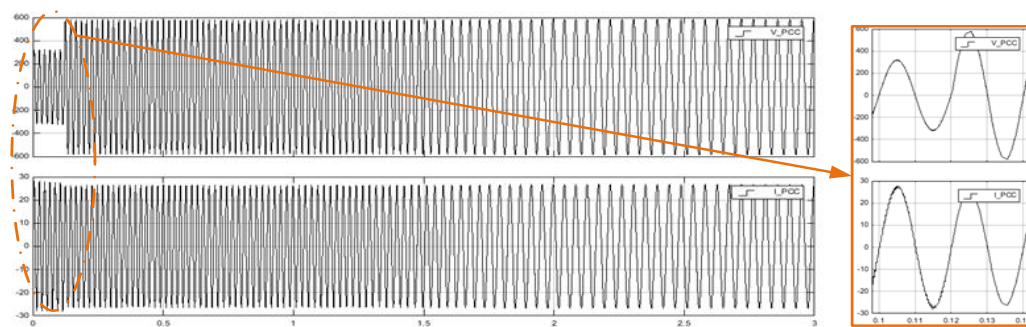
Kondisi *grid fail* adalah kondisi hilangnya tegangan *grid* dari sistem *inverter* terhubung *grid*. Photovoltaic sebagai sumber *inverter* tetap terhubung dan menyalurkan arus ke *grid*. Hal ini menyebabkan muncul harmonik tinggi dari proses pensaklaran inverter serta perubahan tegangan dan arus ke beban sehingga berdampak kerusakan pada peralatan. Sesuai dengan standard IEEE 929-1988 dan IEEE 1547-2003, PV harus berhenti beroperasi di bawah 2 detik terhitung dari kondisi *islanding*. Berikut adalah Gambar 2.8, Gambar 2.9, dan Gambar 2.10 kondisi pengukuran tegangan dan arus ketika terjadi *grid fail* pada sistem.



Gambar 2.8 Grid Fail Kondisi Powermatch



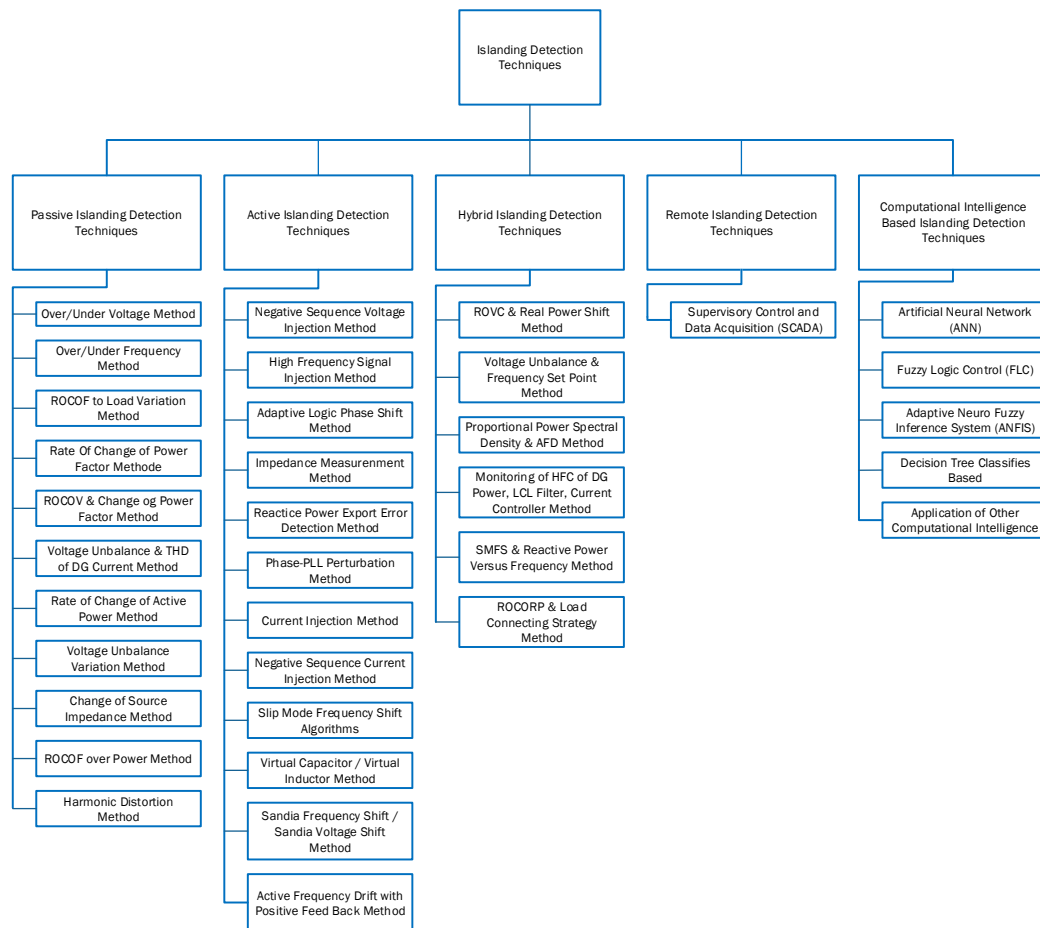
Gambar 2.9 Grid Fail Kondisi Undervoltage



Gambar 2.10 Grid Fail Kondisi Overvoltage

## 2.4 Islanding Detection

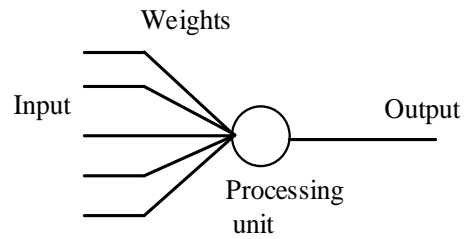
Metode deteksi *islanding* pada sistem dapat diklarifikasikan menjadi metode *passive*, *active*, *hybrid*, *remote* dan *computational intelligence*. Pengelompokan metode deteksi tersebut berdasarkan teknik pengenalan kondisi *islanding* masing-masing metode [15].



Gambar 2.11 Metode Deteksi *Islanding*

## 2.5 *Artificial Neural Network* (ANN)

*Artificial Neural Network* (ANN) adalah sebuah jaringan yang dibuat berdasarkan jaringan saraf manusia. Jaringan saraf manusia disusun atas miliaran neuron yang terhubung dengan miliaran neuron lainnya. Pada struktur ANN neuron tersebut ditunjukkan oleh banyaknya node. Fungsi node adalah mencari tahu pola dari *input* yang diberikan terhadap *output*. Karena sifatnya seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, ANN disebut sebagai sistem adaptif. ANN dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara input dan output untuk menemukan pola-pola data. Berikut adalah bentuk dasar dari sebuah neuron dapat dilihat pada Gambar 2.12.



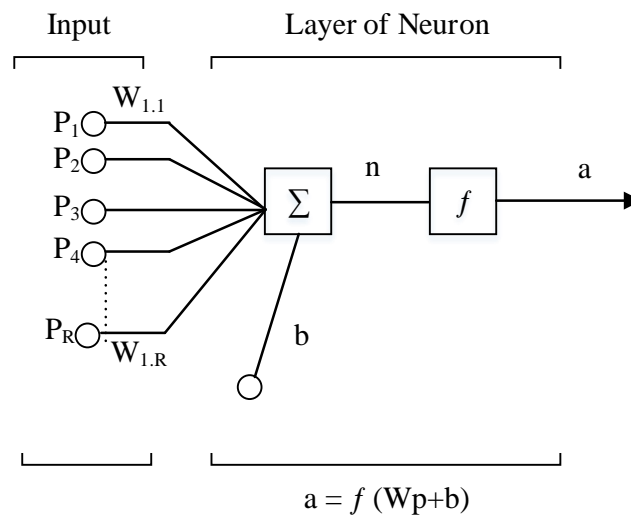
Gambar 2.12 Bentuk Dasar *Neuron*

Keterangan Gambar 2.12 adalah sebagai berikut:

- *Input* merupakan variabel masukan yang digunakan baik saat pembelajaran maupun dalam mengenali suatu objek.
- *Weight* merupakan beban/bobot yang selalu berubah setiap kali diberikan *input* sebagai proses pembelajaran.
- *Processing Unit* merupakan tempat berlangsungnya proses pengenalan suatu objek berdasarkan pembebanan yang diberikan.
- *Output* merupakan keluaran dari hasil pengenalan suatu objek.

### 2.5.1 *Multiple Input Neuron*

*Multiple input neuron* adalah sebuah kondisi masukan (*input*) lebih dari satu. Masing-masing dari *input* yang ada mempunyai nilai bobot  $W$  yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 *Multiple Input Neuron*



Pada Gambar 2.13 terlihat *neuron* mempunyai nilai bias dan nilai bobot yang ketika dijumlahkan akan membentuk suatu jaringan, persamaan yang didapatkan dari hasil *multiple input neuron* didapatkan sebagai berikut :

$$n = w_{1,1} p_1 + w_{1,2} p_2 + \dots + w_{1,R} p_R + b, \text{ atau} \quad (2.1)$$

$$n = W_p + b \quad (2.2)$$

Untuk persamaan keluaran neuron adalah sebagai berikut:

$$a = f(W_p + b) \quad (2.3)$$

Banyaknya *input* pada masukan ANN ditentukan oleh spesifikasi masalah eksternal yang ada.

### 2.5.2 *Backpropagation*

*Backpropagation* merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma *backpropagation* mengubah error output untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur. untuk mendapatkan error ini, tahapan perambatan maju harus dikerjakan terlebih dahulu. Pada saat perambatan maju neuron diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi yang dapat dideferensiasikan, seperti signoid [16]:

$$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\sigma x}} \quad (2.4)$$

$$f'(x) = \sigma f(x)[1 - f(x)] \quad (2.5)$$

Atau tansig :

$$y = f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.6)$$

$$y = f(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}} \quad (2.7)$$

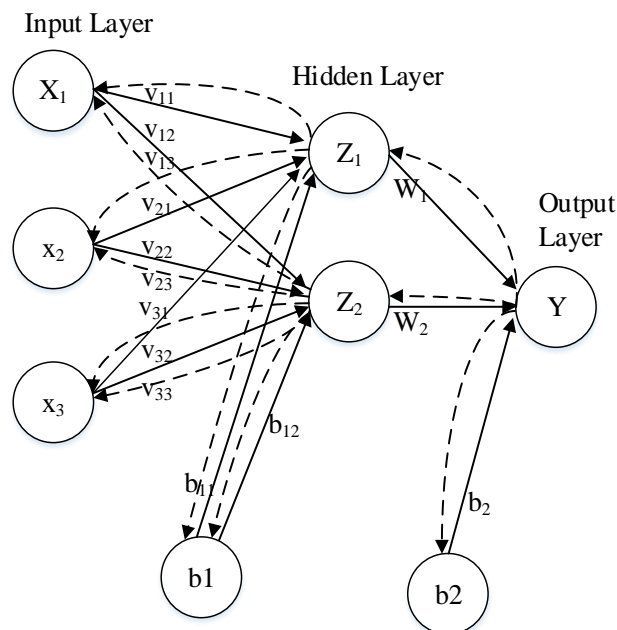
$$f'(x) = [1 + f(x)][1 - f(x)] \quad (2.8)$$

Atau pure linear :

$$y = f(x) = x \quad (2.9)$$

$$f'(x) = 1 \quad (2.10)$$

Arsitektur jaringan *backpropagation* seperti terlihat pada Gambar 2.14 terdiri dari 3 neuron pada *layer input* yaitu  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$ . Dua lapisan tersembunyi yaitu  $Z_1$  dan  $Z_2$  dan 1 unit lapisan *output* adalah  $Y$ . Fungsi aktivasi yang digunakan pada lapisan tersembunyi dengan lapisan *output* adalah fungsi aktivasi *logsig*.



Gambar 2.14 Arsitektur *Artificial Neural Network*

### 2.5.3 Proses Pembelajaran

Proses pembelajaran yang terjadi pada ANN bertujuan untuk mengenali objek yang bersifat kontinuitas. Respon yang diberikan dari proses pembelajaran selalu berbeda yang bertujuan memperkecil *error* dalam pengenalan suatu objek. Secara mendasar, ada dua jenis aturan *learning* yang digunakan pada *neural network*, yaitu:

### 1. *Supervised Learning*

Sistem pembelajaran pada metode *supervised learning* adalah sistem pembelajaran yang diberikan kepada sistem pada awalnya diberikan suatu acuan untuk memetakan suatu masukan menjadi suatu keluaran yang diinginkan. Proses pembelajaran akan dilakukan terus menerus selama kondisi *error* atau kondisi yang diinginkan belum tercapai.

### 2. *Unsupervised Learning*

Sistem pembelajaran pada metode *unsupervised learning* adalah sistem pembelajaran yang tidak membutuhkan adanya acuan awal untuk mencapai nilai yang diinginkan. Pada dasarnya sistem ini mengkalkulasikan setiap langkah pada setiap kesalahan dari nilai *weight* yang didapat.

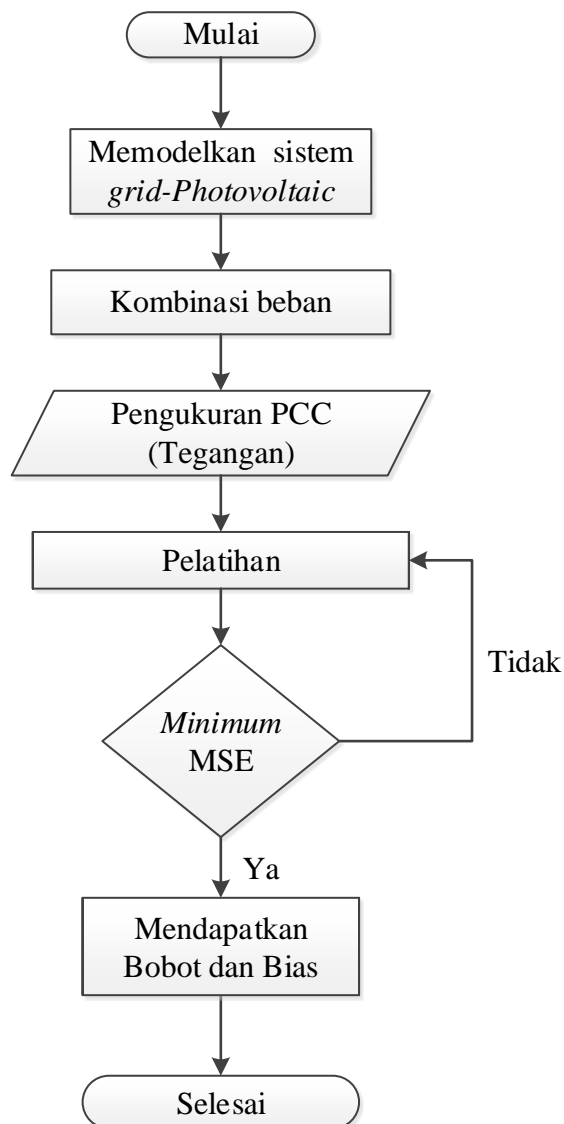
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 3

### METODE DETEKSI ISLANDING MENGGUNAKAN ANN

#### 3.1 Proses Penelitian

Pada Gambar 3.1 dijelaskan proses pembelajaran ANN untuk mendapatkan nilai bobot dan bias. Kedua nilai yang telah didapatkan digunakan untuk melakukan perhitungan pada proses komputasi yang akan dijelaskan *flowchart* sebagai berikut :

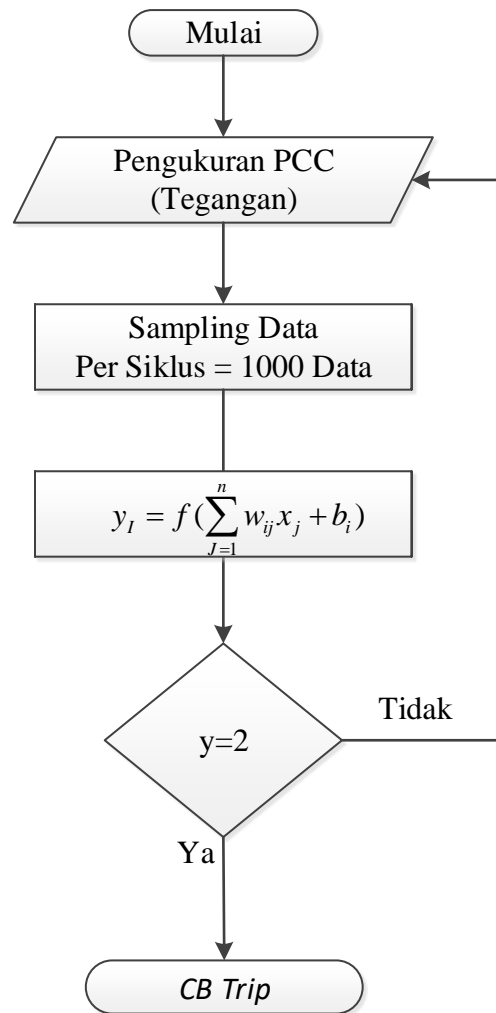


Gambar 3.1 *Flow Chart* Pemodelan ANN Sistem Islanding

Berikut perincian dari proses penelitian diatas :

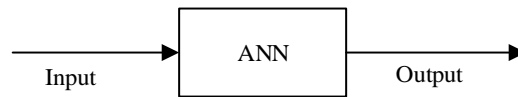
1. Pemodelan sistem *grid-photovoltaic* agar dapat mensimulasikan sistem yang direncanakan.
2. Kombinasi beban untuk mensimulasikan karakteristik sinyal saat *islanding* pada masing-masing kombinasi beban. Hasil simulasi digunakan untuk pelatihan sehingga ANN mengenal dengan baik kondisi *islanding* dari sebuah sistem. Semakin banyak kombinasi ANN yang dilakukan maka hasil deteksi pada ANN semakin akurat.
3. Pengukuran pada titik *point of common coupling (PCC)* akan menghasilkan data tegangan yang akan digunakan sebagai *input* ANN.
4. Proses pelatihan adalah proses pengenalan dari pola data yang didapat dari hasil pengukuran pada titik PCC. Proses pelatihan akan menghasilkan nilai bobot dan bias. Proses pelatihan dilakukan sampai mendapatkan nilai *Mean Square Error (MSE)* yang terkecil.
5. Bobot dan bias merupakan variabel masukan saat komputasi ANN.

Setelah didapatkan nilai bobot dan bias dengan MSE terkecil, selanjutnya akan dilakukan proses komputasi pada ANN yang akan dijelaskan *flowchart* sebagai berikut:



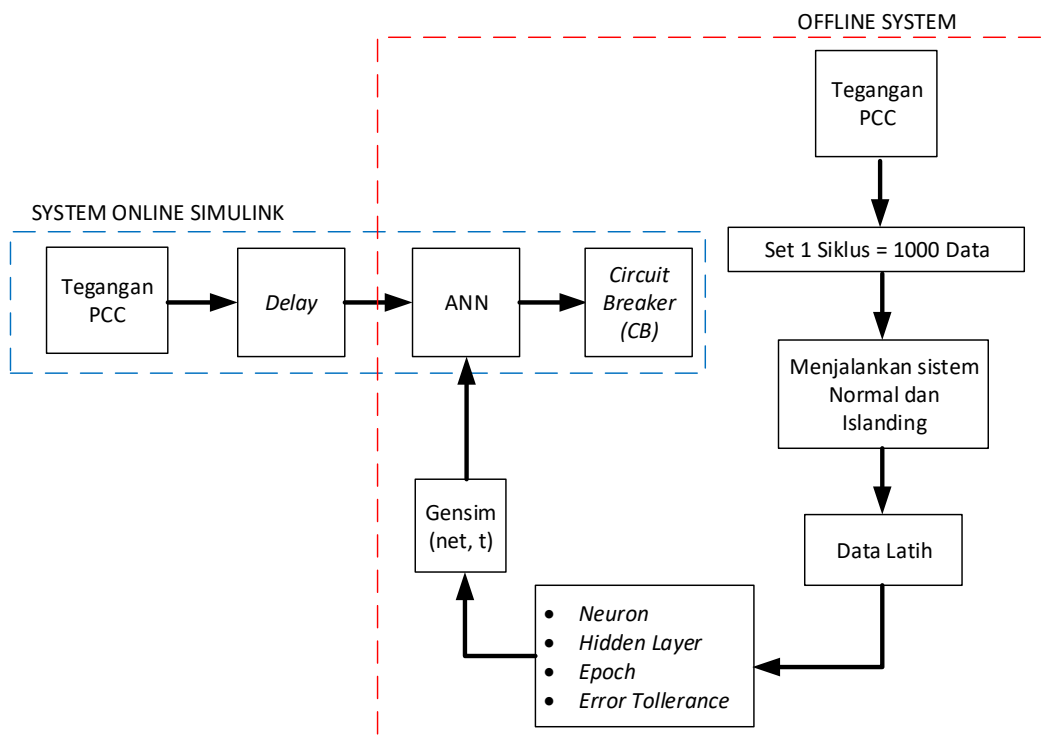
Gambar 3.2 *Flowchart* komputasi ANN pada sistem

Pada Gambar 3.2 terlihat untuk mendeteksi sistem pada kondisi normal atau *islanding* dilakukan komputasi pada sinyal *input* secara terus menerus. Sinyal *input* ANN didapat dari hasil *sampling* per siklus tegangan PCC yang berjumlah 1000 data. Data *input* dikomputasi menggunakan persamaan eksplisit *neural network* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Hasil komputasi target bernilai 2 untuk kondisi *islanding* dan bernilai 1 untuk kondisi bukan *islanding*. Jika target bernilai 1 maka ANN mengulang proses pengukuran pada titik PCC dan komputasi secara kontinu, sedangkan jika target bernilai 2 maka ANN akan mengirim perintah pada *Circuit Breaker (CB)* untuk memutus *photovoltaic* dengan beban.



Gambar 3.3 Input dan Output dari ANN

Pada Gambar 3.3 Variabel input ANN berupa tegangan pengukuran pada output inverter (titik PCC). Variabel output berupa sinyal *trip* CB. Penempatan ANN pada sistem dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Perancangan ANN untuk deteksi *islanding*

Dari Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 dapat disusun desain ANN secara keseluruhan yang tunjukkan pada Gambar 3.4. Terlihat dua bagian dari sistem yaitu sistem *offline* dan *online*. Sistem *offline* adalah pelatihan dan desain struktur ANN. Data latih didapat dari hasil simulasi 39 kondisi beban (subbab 3.2) pada keadaan normal dan *islanding*. Total data *input* yang digunakan adalah 390 data yang didapat dari 10 siklus untuk masing-masing kondisi dengan jumlah *sample* setiap siklus adalah 1000 data. Dari total keseluruhan data latih yang didapat digunakan sebagai proses pelatihan/*training* agar didapatkan *net* (struktur ANN). Parameter

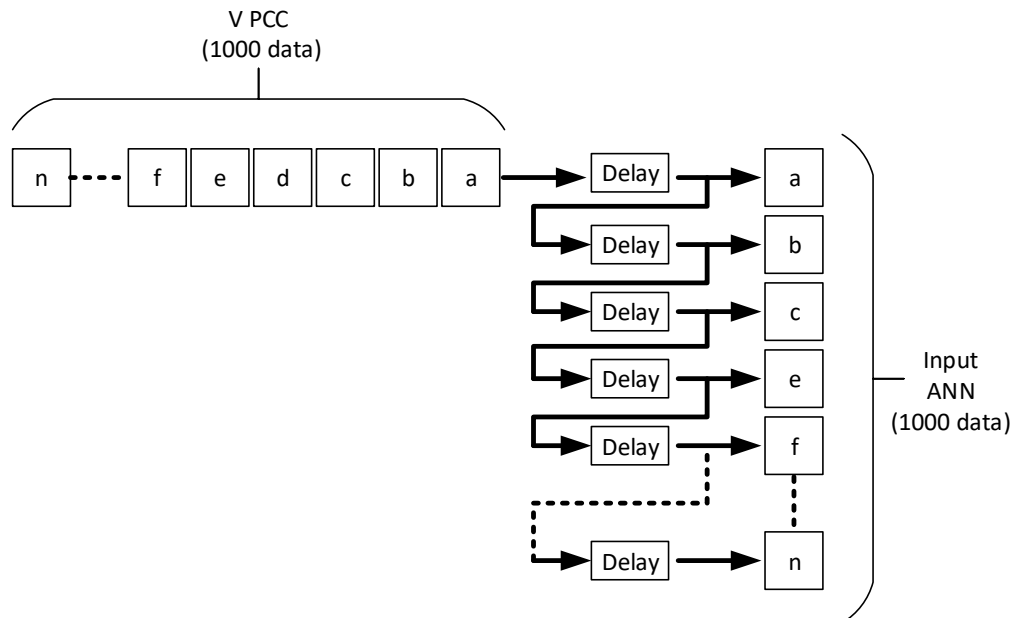


yang digunakan dalam proses pelatihan menggunakan *neuron 3*, *hidden layer 2*, Epoch 1000 dan *error tollerance* sebesar  $1e-5$ . Nilai parameter tersebut digunakan karena sudah didapat hasil yang cukup akurat dengan waktu yang tidak terlalu lama. *Source Code* yang digunakan untuk proses pelatihan ANN adalah sebagai berikut.

```
data = xlsread('Data.xlsx','Sheet5','A1:BX156');
Data_training=data(1:156,1:2000);
Data_target=data(1:156,2001);
% preprocessing
[pn,meanp,stdp,tn,meant,stdt] =
prestd(Data_training',Data_target')
% membangun jaringan syaraf
net = newff(minmax(pn),[3 1],{'tansig','purelin'},'trainlm');
BobotAwal_Layer_Pertama_Input=net.IW{1,1};
BiasAwal_Layer_Pertama=net.b{1};
BobotAwal_Layer_Kedua=net.LW{2,1};
BiasAwal_Layer_Kedua=net.b{2};
net.trainParam.epochs = 1e3;
net.trainParam.goal = 1e-5;
net.trainParam.lr = 0.9;
net.trainParam.max_fail = 10;
net.trainParam.mc = 0.2;
net.trainParam.show = 100;
net.trainParam.show = 1000;
net = train(net,pn,tn);
net.divideParam.trainRatio = 0.8;
net.divideParam.valRatio = 0.1;
net.divideParam.testRatio = 0.1;
an = sim(net,pn);
a = poststd(an,meant,stdt);
Bobotakhir_Layer_Pertama_Input=net.IW{1,1};
Biasakhir_Layer_Pertama=net.b{1};
Bobotakhir_Layer_Kedua=net.LW{2,1};
Biasakhir_Layer_Kedua=net.b{2};
figure(2)
hold on
plot(Data_target,'b o')
hold off
hold on
plot(abs(a),'r *')
hold off
legend('Actual Data','Neural Network')
save Neuron3.mat
```

Setelah proses pelatihan dilakukan, didapatkan *net* (struktur ANN) yang kemudian akan di-*generate* keranah simulink menggunakan syntax gensin (*net*, *time step*). Hasil struktur ANN dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi *islanding* secara *online*.

Pengukuran tegangan secara kontinu pada titik PCC dilakukan untuk memperoleh data *input* ANN. Data *input* dari hasil pengukuran berupa data vektor baris yang dikonversikan menjadi kolom menggunakan *delay* seperti yang terlihat pada Gambar 3.5.



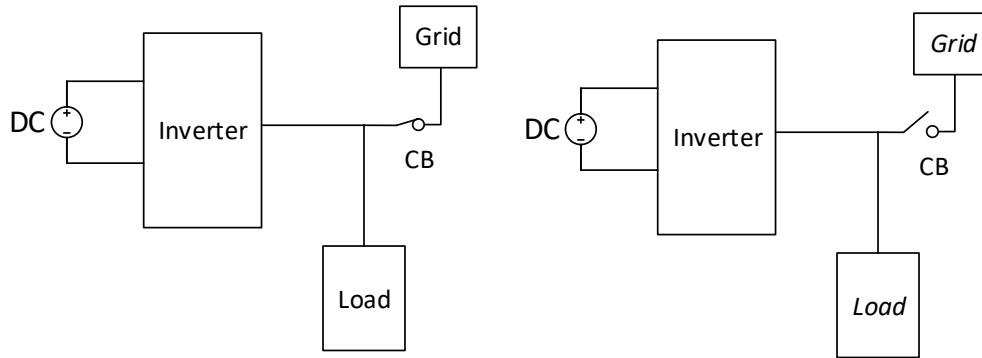
Gambar 3.5 *Single Input* menjadi *Multi Input ANN*

## 3.2 Konfigurasi Beban

Pada sub bab ini akan membahas kondisi beban yang akan disimulasikan pada sistem ketika terjadi kondisi *islanding*, hasil keluaran yang dihasilkan titik PCC akan diteruskan sebagai masukan ANN. Ada beberapa kondisi yang direncanakan dengan nilai  $\cos \phi$  yang bervariasi yaitu kondisi *Powermatch*, *Overvoltage* dan *Undervoltage* adalah sebagai berikut:

### 3.2.1 Pengaruh Daya Beban Terhadap Fenomena *Islanding*

Pada kondisi normal, tegangan cenderung stabil karena masih terhubung dengan *grid* sehingga untuk menaikkan daya beban adalah dengan cara menurunkan impedansi, begitu juga sebaliknya.



Gambar 3.6 Sistem Sebelum *Islanding* (kiri) dan Sesudah *Islanding* (kanan)

$$P_{beban} = \frac{V^2}{Z_{beban}} \quad (3.1)$$

Dengan impedansi beban yang lebih kecil, maka membutuhkan arus yang lebih besar untuk mencapai tegangan nominal sesuai (3.1).

$$V_{grid} = I_{beban} \cdot Z_{beban} \quad (3.2)$$

Daya beban saat ini adalah lebih besar dari daya *photovoltaic* (PV), sesuai (3.2):

$$S_{beban} = V_{grid} \cdot I_{beban} \quad (3.3)$$

Dengan impedansi beban yang semakin besar, maka diperlukan arus yang lebih rendah untuk mencapai tegangan nominal. Daya beban saat ini adalah kurang dari daya *photovoltaic*. Pada kondisi *islanding/grid fail* dengan arus inverter yang dijaga konstan, berlaku hubungan tegangan, arus dan impedansi beban sesuai (3.3):

Pada nilai impedansi tertentu (*match*), tegangan sebelum dan sesudah *islanding* akan cenderung sama. Fenomena ini disebut *powermatch*. Pada nilai impedansi dibawah impedansi *match*, maka akan muncul fenomena berikut:

Sebelum *islanding* → Daya PV < daya beban dan kekurangan daya beban diambil dari *grid*.

Setelah *islanding* → Daya PV < daya beban, Tegangan yang muncul dengan arus konstan adalah lebih rendah dari tegangan nominal (*undervoltage*).

Pada nilai impedansi diatas impedansi *match*, maka akan muncul fenomena berikut:

Sebelum *islanding* → Daya PV > daya beban dan kelebihan daya akan ditransfer ke *grid*.

Setelah *islanding* → Daya PV > daya beban, Tegangan yang muncul dengan arus konstan adalah lebih besar dari tegangan nominal (*overvoltage*).

### 3.2.2 Kondisi *Powermatch*

Kondisi *powermatch* adalah besarnya daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic* sama dengan daya yang dibutuhkan beban. Pada kondisi *powermatch* ketika terjadi *islanding* pada sistem nilai amplitudo tegangan sebelum ataupun sesudah *islanding* tidak mengalami perubahan. Berikut adalah perhitungan beban yang digunakan pada simulasi.

Tabel 3.1 Konfigurasi Beban *Powermatch*

Sifat Beban	Cos phi	R (ohm)	L (mH)	C (uF)
Resistif	1	11	-	-
Induktif	0.65	11	338.49	-
	0.7	11	295.37	-
	0.75	11	255.33	-
	0.8	11	217.14	-
	0.85	11	179.43	-
	0.9	11	140.22	-
Kapasitif	0.65	11	-	29.96
	0.7	11	-	34.34
	0.75	11	-	39.72
	0.8	11	-	46.71
	0.85	11	-	56.53
	0.9	11	-	72.33

### 3.2.3 Kondisi *Overvoltage*

Pada kondisi *overvoltage*, ketika terjadi kondisi *islanding* nilai amplitudo yang terukur pada titik PCC akan bertambah. Hal ini disebabkan tidak adanya tegangan *grid* sebagai sinyal referensi pada inverter dan kecilnya nilai beban dibandingkan dengan daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic*. Berikut adalah nilai RLC yang digunakan untuk dapat mensimulasikan kondisi *overvoltage*.

Tabel 3.2 Konfigurasi Beban *Overvoltage*

Sifat Beban	Cos phi	R (ohm)	L (mH)	C (uF)
Resistif	1	27.5	-	-
Induktif	0.65	27.5	135.39	-
	0.7	27.5	118.15	-
	0.75	27.5	102.13	-
	0.8	27.5	86.86	-
	0.85	27.5	71.77	-
	0.9	27.5	56.09	-
Kapasitif	0.65	27.5	-	74.91
	0.7	27.5	-	85.85
	0.75	27.5	-	99.31
	0.8	27.5	-	116.77
	0.85	27.5	-	141.32
	0.9	27.5	-	180.83

### 3.2.4 Kondisi *Undervoltage*

Pada kondisi *undervoltage*, ketika terjadi kondisi *islanding* nilai amplitudo yang terukur pada titik PCC akan berkurang. Hal ini disebabkan tidak adanya tegangan *grid* sebagai sinyal referensi pada inverter dan besarnya nilai beban dibandingkan dengan daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic*. Berikut adalah nilai RLC yang digunakan untuk dapat mensimulasikan kondisi *undervoltage* pada beban.

Tabel 3.3 Konfigurasi Beban *Undervoltage*

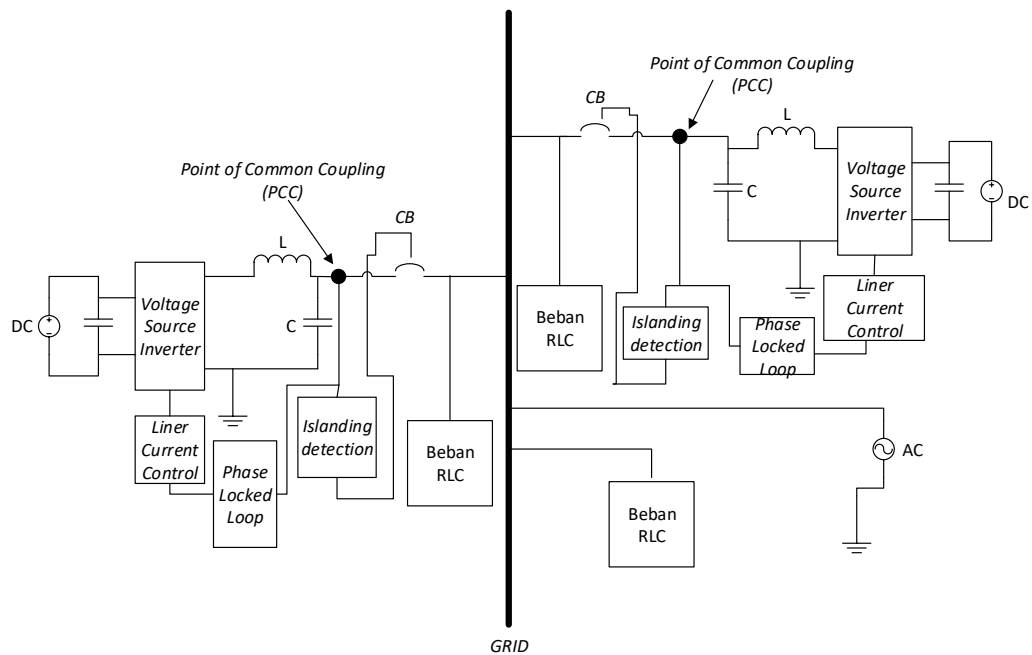
Sifat Beban	Cos phi	R (ohm)	L (mH)	C (uF)
Resistif	1	4.4	-	-
Induktif	0.65	4.4	846.2	-
	0.7	4.4	738.4	-
	0.75	4.4	638.3	-
	0.8	4.4	542.8	-
	0.85	4.4	448.6	-
	0.9	4.4	350.6	-
Kapasitif	0.65	4.4	-	12.0
	0.7	4.4	-	13.7
	0.75	4.4	-	15.9
	0.8	4.4	-	18.7
	0.85	4.4	-	22.6
	0.9	4.4	-	28.9

### 3.3 Pemodelan Sistem *Grid-Photovoltaic* yang terdistribusi

Pada sub bab ini membahas tentang pemodelan sistem *grid-photovoltaic* yang terdistribusi yaitu pemodelan beban, pemodelan sistem *photovoltaic*, konfigurasi *inverter*, pemodelan *current control voltage source inverter*, *phase locked loop* dan desain filter LC.

#### 3.3.1 Pemodelan Sistem *Grid-Photovoltaic*

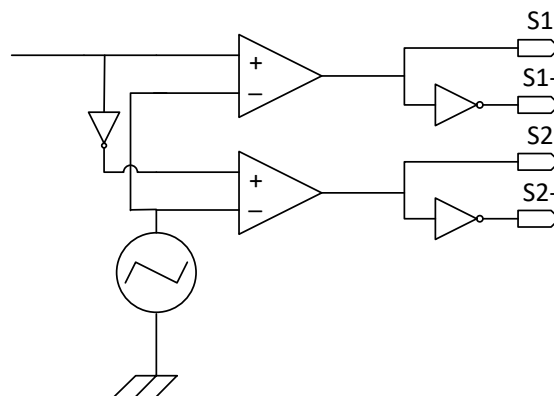
Pemodelan bertujuan untuk dapat mensimulasikan kondisi *islanding* pada sistem *grid-photovoltaic* yang terdistribusi. Data beban diasumsikan dari hasil perhitungan pada sub bab sebelumnya. Diharapkan dari hasil simulasi yang dilakukan, sistem dapat mendeteksi kondisi *islanding*. Berikut ini adalah **Error! Reference source not found.** Pemodelan sistem *grid-photovoltaic* yang terdistribusi.



Gambar 3.7 Pemodelan Sistem *Grid-Photovoltaic* yang Terdistribusi

### 3.3.2 Perhitungan SPWM

Berikut adalah Gambar 3.8 Sinyal *switching* SPWM pada *inverter*.



Gambar 3.8 Sinyal *switching* SPWM pada *inverter*

Berikut adalah perhitungan nilai amplitudo segitiga sebagai referensi untuk proses *switching* pada *inverter* yang dikomperatorkan dengan sinyal sinus yang menggunakan sudut hasil keluaran PLL seperti yang dilihat pada Gambar 3.8 adalah sebagai berikut.

$$m = \frac{2xV_{LN}}{V_{dc}} \quad (3.4)$$

$$m = \frac{2x220}{1000} \quad (3.5)$$

$$m = 0,44 \quad (3.6)$$

$$A_{segitiga} = \frac{\sqrt{2}}{0,44} \quad (3.7)$$

$$A_{segitiga} = 3,214 \quad (3.8)$$

Dimana:

- $m$  = Indeks modulasi
- $V_{LN}$  = Tegangan *line-netral*
- $V_{dc}$  = Tegangan DC-Link
- $A_{segitiga}$  = Amplitudo sinyal segitiga

### 3.3.3 Desain Filter LC

Penggunaan *filter* bertujuan untuk meminimalkan *ripple* yang ada akibat dari proses *switching* pada *inverter*. Perhitungan dari nilai *filter* yang digunakan berdasarkan persamaan berikut.

$$Z_b = \frac{Vg^2}{P} \quad (3.9)$$

$$C = \frac{1}{2x\pi xfxZ_b} \quad (3.10)$$

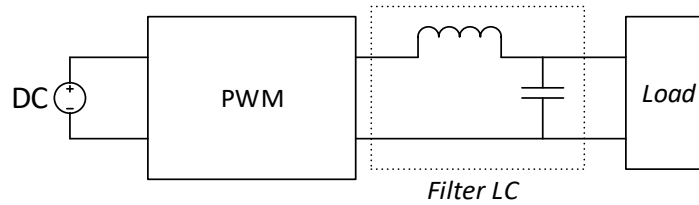
$$L = \frac{V_{dc}}{2x\pi xfxZ_b} \quad (3.11)$$

Dimana:

- $f$  = frekuensi
- $Z_b$  = Impedansi base
- $Vg$  = Tegangan *grid*
- $P$  = Daya
- $C$  = Kapasitansi
- $L$  = Induktansi
- $V_{dc}$  = Tegangan DC-Link



Parameter yang digunakan untuk perhitungan nilai *filter* adalah sumber tegangan DC *link* sebesar 1000 Volt, frekuensi *grid* 50Hz, frekuensi 10.000. Dari parameter-parameter tersebut didapat nilai dari *filter* LC pada sistem adalah L 44,19 mH dan C 14,48  $\mu$ F. Berikut adalah Gambar 3.9 desain *filter* LC pada rangkaian *inverter*.



Gambar 3.9 Single Phase Filter LC pada output Inverter

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

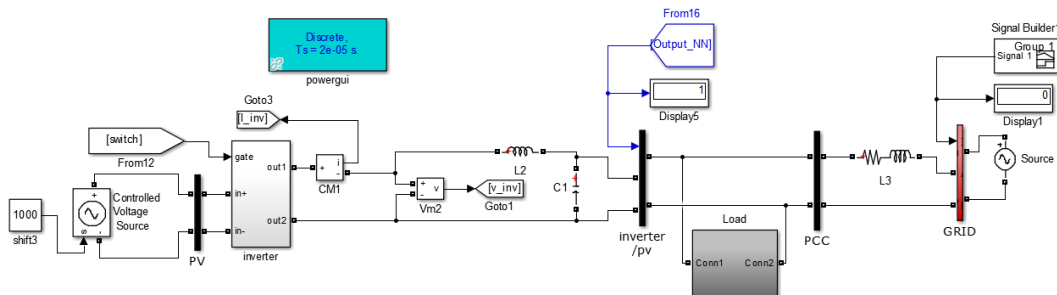
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan beberapa kondisi beban pada sistem dan proses deteksi *islanding* menggunakan *Artificial Neural Network (ANN)*. Beberapa konfigurasi beban dilakukan bertujuan agar kondisi metode yang digunakan dapat mendeteksi kondisi *islanding* pada saat membaca sinyal tegangan di titik *Point Common Coupling (PCC)*.

#### 4.1 Pemodelan Sistem *Grid-Photovoltaic*

Berikut adalah Gambar 4.1 desain sistem pemodelan yang digunakan untuk mensimulasikan kondisi *islanding* sesuai yang telah dibahas pada bab sebelumnya.



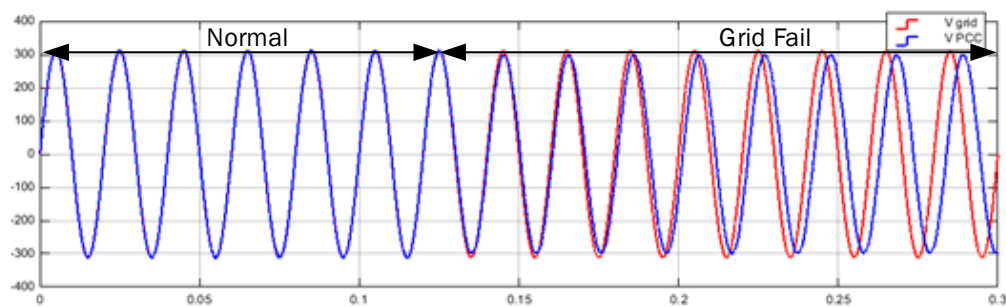
Gambar 4.1 Pemodelan Sistem *Grid-Photovoltaic*

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat rangkaian keseluruhan dari sistem. *Photovoltaic* yang digunakan diasumsikan menggunakan sumber DC yang dikonversikan menjadi tegangan AC menggunakan *inverter*. Untuk mengeluarkan tegangan yang baik pada *inverter* digunakan *filter LC*. Hasil keluaran *inverter* dihubungkan dengan *grid* dan beban. Proses penggabungan pada *grid* dilakukan menggunakan PLL untuk menyamakan fasa, amplitudo dan frekuensi tegangan. Keluaran dari *inverter* dapat menghasilkan daya sebesar 4400 VA.

Berikut adalah hasil simulasi masing-masing kondisi beban. Hasil simulasi akan memperlihatkan keluaran tegangan pada saat terjadi *islanding*. Khususnya kondisi beban yang bersifat *powermatch*, *overvoltage* dan *undervoltage*. Hasil pembacaan tegangan tersebut yang akan digunakan sebagai masukan pada ANN.

#### 4.1.1 Kondisi *Powermatch*

Kondisi *powermatch* adalah kondisi ketika terjadi *islanding*, daya yang dihasilkan *photovoltaic* sama dengan daya yang diserap beban sebesar 4400 VA. Pada kondisi ini, perubahan amplitudo pada tegangan yang diukur tidak mengalami perubahan. Perubahan yang terjadi adalah adanya pergeseran fasa secara terus menerus setelah terjadi kondisi *islanding*. Hal ini disebabkan adanya metode *active frequency drift* pada sistem, ketika pembangkit utama mengalami gangguan maka metode *active islanding detection* akan aktif dan menginjeksi harmonisa pada sistem. Hal tersebut dapat kita lihat pada Gambar 4.2 hasil simulasi kondisi beban *powermatch*.

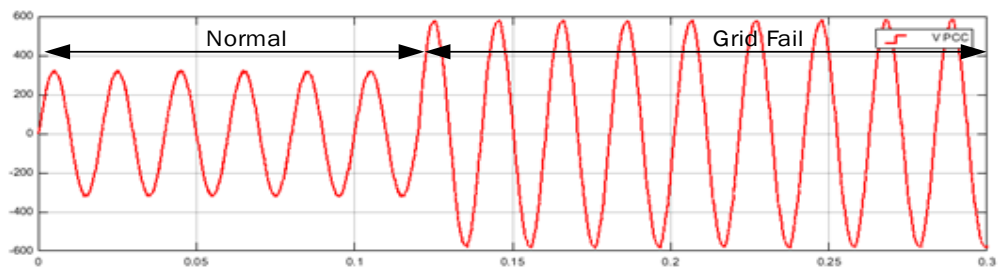


Gambar 4.2 Hasil Simulasi Kondisi Beban Resistif *Powermatch*

Pada Gambar 4.2 terlihat amplitudo dari sinyal setelah 0,12 detik atau pada kondisi *islanding*, amplitudo yang dihasilkan memiliki nilai yang sama ketika kondisi normal sebelum 0,12 detik yaitu 220 Volt. Sedangkan fasa saat kondisi normal dan *islanding* mengalami perubahan. Hal ini akan mempermudah proses deteksi yang akan dilakukan ANN. Sinyal dengan warna merah merupakan hasil pengukuran titik PCC sedangkan warna biru merupakan sinyal tegangan pada pembangkit utama. Hal tersebut agar mempermudah melihat metode AFD bekerja pada sistem.

#### 4.1.2 Kondisi *Overvoltage*

Kondisi *Overvoltage* adalah kondisi ketika terjadi *islanding*, daya yang dihasilkan photovoltaic lebih besar dibandingkan daya yang diserap beban. Pada kondisi ini, daya yang dihasilkan *photovoltaic* sebesar 4400 VA sedangkan daya yang diserap beban adalah 1760 VA atau 2,5 kali lebih kecil dari *photovoltaic*. Berikut adalah Gambar 4.4.

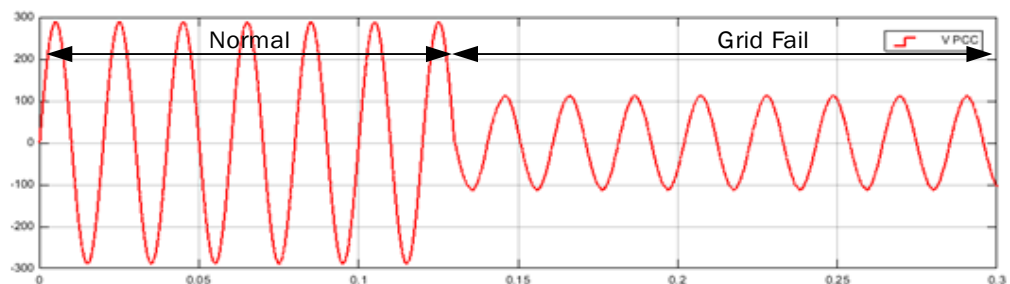


Gambar 4.3 Hasil Simulasi Kondisi beban Resistif *Overvoltage*

Pada Gambar 4.3 terlihat *islanding* terjadi yaitu setelah detik 0,12, adanya kenaikan tegangan sebesar 421,561 Volt. Pada kondisi *Overvoltage*, perilaku sinyal akan dikenali oleh ANN melalui pergeseran fasa dan perubahan amplitudo hasil pengukuran dititik PCC.

#### 4.1.3 Kondisi *Undervoltage*

Kondisi *Undervoltage* adalah kondisi ketika terjadi *islanding*, daya yang dihasilkan *photovoltaic* lebih kecil dibandingkan daya yang diserap beban. Pada kondisi ini, daya yang dihasilkan *photovoltaic* sebesar 4400 VA sedangkan daya yang diserap beban adalah 11000 VA atau 2,5 lebih besar dari *photovoltaic*. Berikut adalah Gambar 4.4 hasil simulasi kondisi beban resistif *undervoltage*.



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Kondisi beban Resistif *Undervoltage*

Pada Gambar 4.4 terlihat *islanding* terjadi yaitu setelah detik 0,12, adanya penurunan tegangan sebesar 110 Volt. Pada kondisi *undervoltage*, perilaku sinyal akan dikenali oleh ANN melalui pergeseran fasa dan perubahan amplitudo hasil pengukuran dititik PCC.

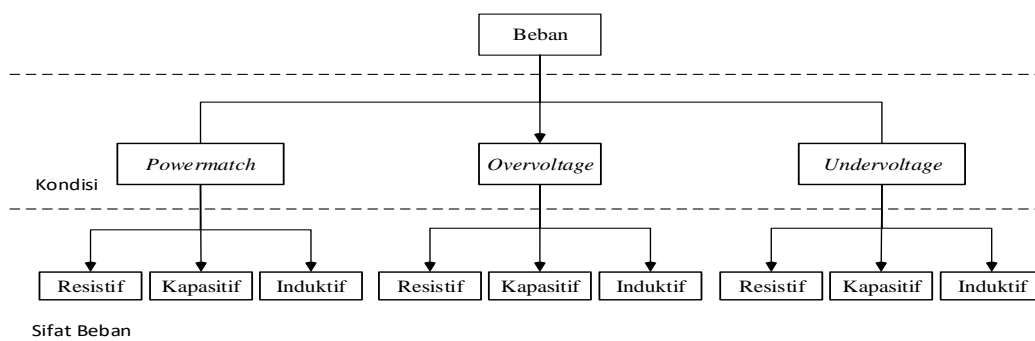
## 4.2 Metode ANN untuk *Islanding Detection*

Proses mendeksi *islanding* dilakukan oleh ANN. ANN membaca tegangan keluaran dari titik PCC. Pembacaan tersebut dilakukan setiap siklus secara terus menerus. Ketika ANN mendeteksi kondisi *islanding* maka ANN akan memerintahkan CB yang menghubungkan antara *inverter* dan beban harus diputus. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari kerusakan pada peralatan. Untuk dapat membaca kondisi *islanding* dari sebuah sistem pada pengukuran PCC, sebelumnya ANN akan mempelajari pola dari sinyal normal dan *islanding* dengan cara melatih keseluruhan data kondisi beban yaitu *powermatch*, *overvoltage* dan *undervoltage* dengan memvariasikan nilai  $\cos \phi$ . Sehingga diharapkan segala perubahan yang terjadi pada beban akan tetap dideteksi menggunakan ANN.

Mengacu pada perencanaan pada bab 3, maka sub bab ini akan dijelaskan secara bertahap proses yang ada pada metode ANN sehingga dapat mendeteksi kondisi *islanding* sistem.

### 4.2.1 Proses Pelatihan Pada ANN

Pada proses pelatihan ANN digunakan teknik pelatihan *backpropagation*. Pelatihan dilakukan pada setiap data kondisi. Berikut adalah Gambar 4.5 bagan data yang digunakan pada proses pelatihan ANN.

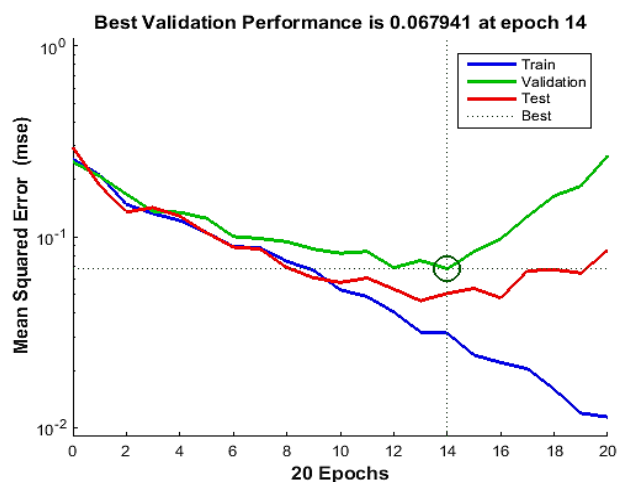


Gambar 4.5 Data Pelatihan Pada ANN

Pada Gambar 4.5 terlihat beban terbagi menjadi tiga kondisi yaitu *powermatch*, *overvoltage* dan *undervoltage*. Masing-masing kondisi tersebut terbagi menjadi tiga sifat beban yaitu resistif, kapasitif dan induktif. Masing-masing sifat beban dimodelkan menjadi 13 data pada masing-masing kondisi dengan cara mengubah nilai  $\cos \phi$  dari beban. Pada sistem,  $\cos \phi$  yang digunakan adalah  $\cos \phi$  0,65 sampai dengan 1. Sehingga total keseluruhan data sinyal tegangan yang dilatih pada ANN adalah 39 data.

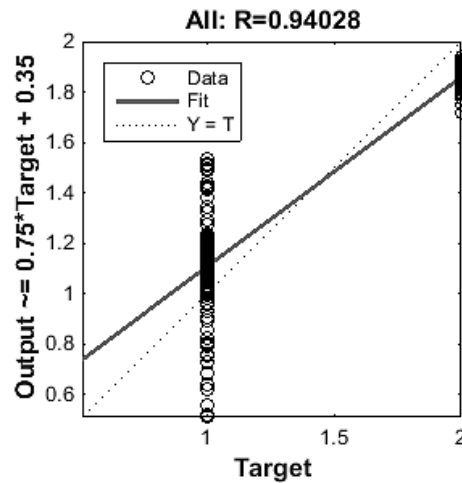
Data yang telah didapatkan, dilakukan *sampling* permasing-masing data. Untuk kondisi sebelum terjadi *islanding* dan setelah terjadi *islanding*, masing-masing kondisi diambil 5 siklus. Total data dari masing-masing kondisi yang digunakan untuk melatih ANN sebesar 390 data.

Dari hasil *sampling* yang didapat, dilakukan pelatihan menggunakan ANN. Pelatihan tersebut dibentuk secara acak dengan susunan 90% untuk proses pelatihan, 5 % untuk pegujian dan 5% untuk validasi (termasuk data pelatihan dan data pengujian). ANN yang digunakan terdiri dari 3 lapisan yang terdiri dari 1 lapisan masukan, 1 lapisan tersembunyi, dan 1 lapisan keluaran. Untuk mendapatkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) yang paling minimum maka pelatihan dilakukan beberapa kali dengan cara merubah jumlah neuron didalam lapisan tersembunyi hingga mendapatkan nilai MSE kecil dengan jumlah neuron paling sedikit. Berikut adalah Gambar 4.6 kurva performa dan Gambar 4.7 kurva kesesuaian.



Gambar 4.6 Kurva *Best Performen* Validasi

Pada Gambar 4.6 terlihat kurva pelatihan, validasi dan pengujian. Nilai performa validasi merupakan rata-rata dari nilai performa pelatihan dan performa pengujian. Semakin banyak iterasi nilai MSE akan semakin kecil, namun mungkin akan meningkat pada saat data validasi yang telah ditetapkan pada jaringan mulai melengkapi data pelatihan.



Gambar 4.7 Kurva Kesesuaian Target ANN

Pada Gambar 4.7 terlihat kurva kesesuaian antara data target dan data pelatihan, validasi dan pengujian. Dengan korelasi keseluruhan sebesar 0,94.

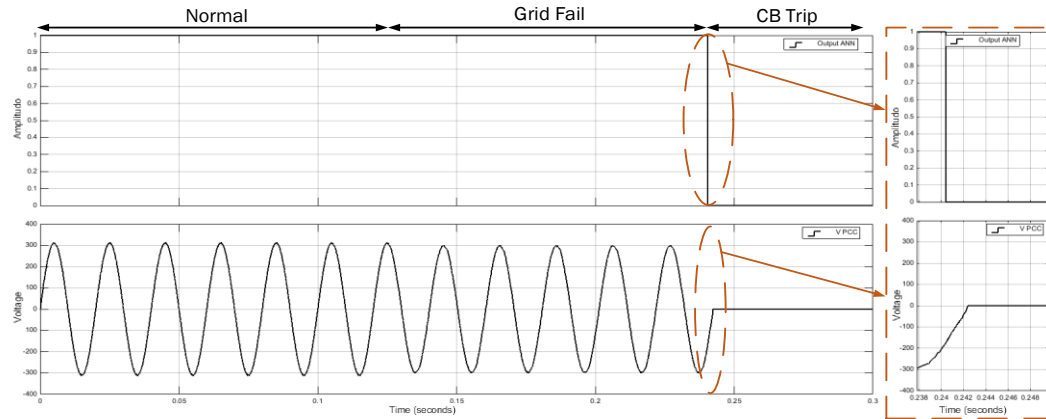
#### 4.2.2 Hasil Deteksi Metode ANN Pada Sistem

Dari hasil pelatihan ANN, nilai bobot dan bias dapat digunakan sebagai data dasar pembuatan ANN. Simulasi yang dilakukan kondisi *islanding* diasumsikan terjadi pada detik 0,12. Setelah terjadi kondisi *islanding* diharapkan metode ANN dapat mendeteksi kondisi tersebut dan mengirim perintah pada CB untuk memutus *photovoltaic* dengan beban. Beberapa kondisi sistem yang disimulasikan adalah kondisi beban tanpa metode deteksi ANN, *powermatch*, *overvoltage*, *undervoltage* dan perubahan daya *inverter* pada waktu tertentu menggunakan metode ANN.



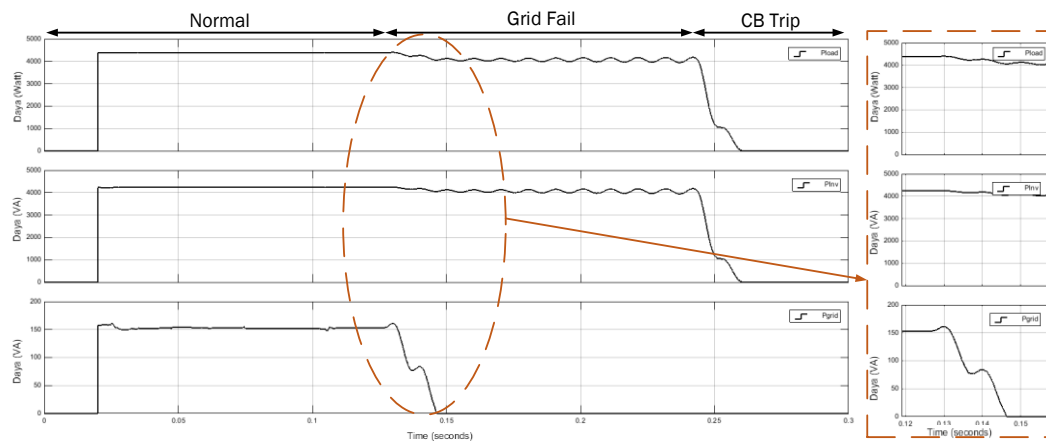
#### 4.2.2.1 Kondisi *Powermatch*

Pada simulasi ini, sifat beban yang digunakan adalah resistif dengan  $\cos \phi = 1$  dan nilai resistor yang digunakan sebesar  $11 \Omega$ . Hasil simulasi akan dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 (a) Hasil Deteksi *Islanding* ANN (B) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi *Powermatch*

Dari hasil simulasi pada Gambar 4.8 terlihat terjadi perubahan amplitudo tetapi karena perubahan masih dalam batasan normal sistem, metode ANN belum mendeteksi kondisi tersebut sebagai kondisi *islanding*. Pada beberapa siklus berikutnya terlihat ada pergeseran fasa sehingga pada detik 0,24 ANN mendeteksi kondisi *islanding* dan mengirim perintah pada CB untuk melepas *photovoltaic* dari beban.



Gambar 4.9 (a) Daya *Grid* (b) Daya *Photovoltaic* (c) Daya Beban pada Kondisi *Powermatch*

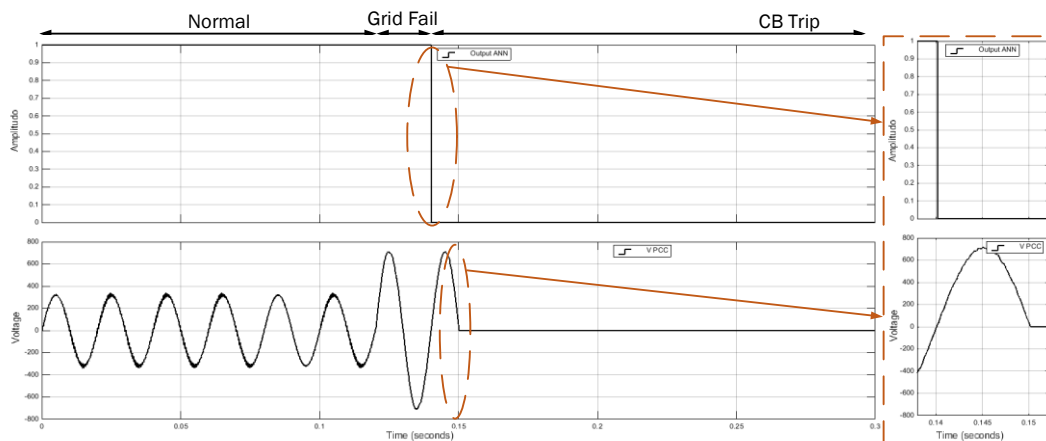
Pada Gambar 4.9 terlihat daya yang dihasilkan *photovoltaic* sebelum dan setelah kondisi *islanding* pada detik 0,12 tidak mengalami perubahan. Hal tersebut dikarenakan daya yang dihasilkan *photovoltaic* dan yang dikonsumsi beban sama besar. Untuk menjaga keamanan beban dan sistem dari kerusakan perlu dilakukan pemutusan antara *photovoltaic* dan beban yang terjadi pada detik 0,24.

#### 4.2.2.2 Kondisi Overvoltage

Hasil simulasi yang akan ditampilkan pada kondisi *overvoltage* terbagi menjadi tiga bagian yaitu beban bersifat resistif, kapasitif dan induktif yang akan dijelaskan sebagai berikut.

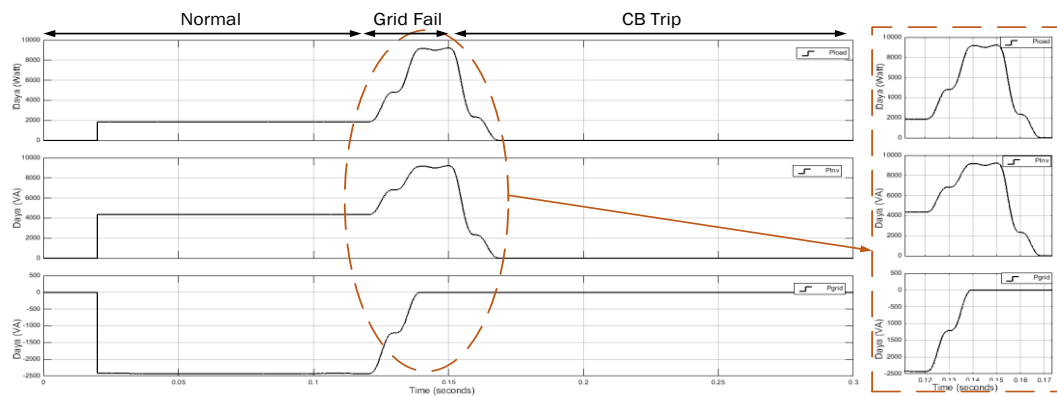
##### 4.2.2.2.1 Beban Resistif

Pada simulasi ini sifat beban yang digunakan adalah resistif dengan  $\cos \phi = 1$  dan nilai resistor yang digunakan sebesar  $27,5 \Omega$ . Hasil simulasi akan dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 (a) Hasil Deteksi *Islanding* ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi *Overvoltage*, Beban Resistif

Dari hasil simulasi pada Gambar 4.10 terlihat terjadi perubahan amplitudo dari 311 volt menjadi 700 volt. Hal tersebut jika berlangsung lama tentu dapat merusak beban. Pada siklus kedua yaitu detik 0,14 metode ANN dapat mendeteksi kondisi *islanding* sistem. Hasil deteksi tersebut mengakibatkan CB bekerja untuk melepas *photovoltaic* dari beban. Sehingga pada detik 0,15 tegangan pada titik PCC menjadi nol.

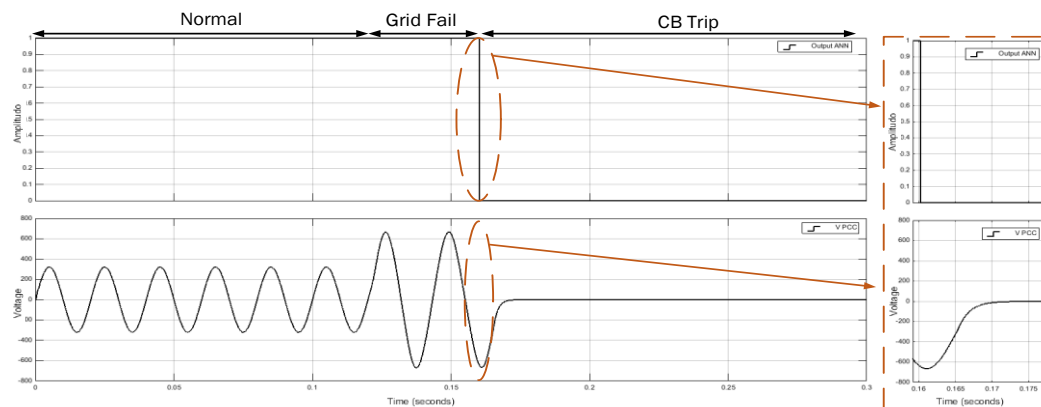


Gambar 4.11 (a) Daya grid (b) Daya *Photovoltaic* (c) Daya Beban pada Kondisi *Overvoltage*, Beban Resistif

Pada Gambar 4.11 terlihat untuk kondisi sebelum *islanding*, *inverter* memproduksi daya sebesar 4000 VA dan daya yang dikonsumsi beban sebesar 2000 Watt. Kelebihan daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dikirim pada *grid* sebesar 2500 VA. Setelah terjadi kondisi *islanding* pada detik 0,12. Akibat dari kelebihan daya *inverter* maka tegangan keluaran menjadi naik. Akibat kondisi tersebut ANN mendeteksi kondisi *islanding* sistem dan memutus *photovoltaic* dengan beban pada detik 0,14.

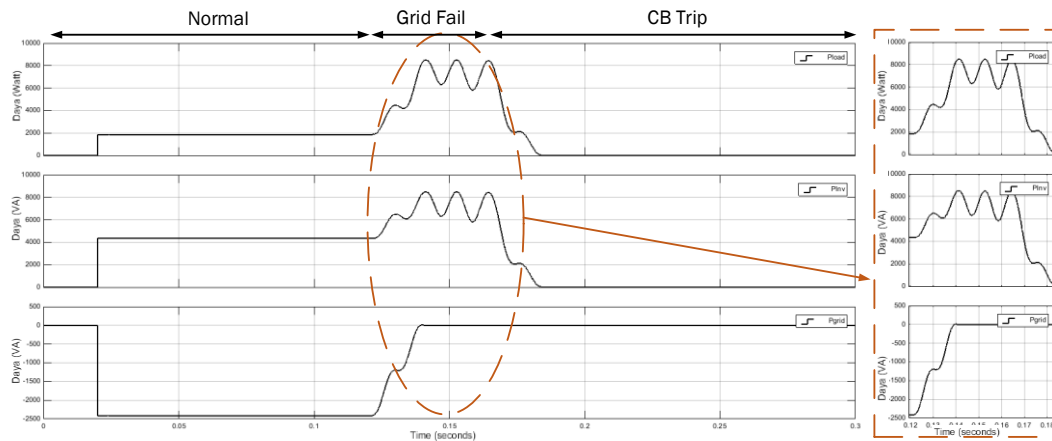
#### 4.2.2.2.2 Kapasitif

Pada simulasi ini, sifat beban yang digunakan adalah kapasitif dengan  $\cos \phi$  0,9, nilai dari resistor yang digunakan sebesar  $27,5 \Omega$  dan nilai kapasitor sebesar  $56 \mu\text{F}$ . Hasil simulasi akan dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 (a) Hasil Deteksi *Islanding* ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi *Overvoltage*, Beban Kapasitif

Dari hasil simulasi pada Gambar 4.12 terlihat terjadi perubahan amplitudo lebih besar dari kondisi sebelumnya. Jika berlangsung lama tentu dapat merusak beban. Pada siklus kedua yaitu detik 0,16 metode ANN dapat mendeteksi kondisi *islanding* sistem. Hasil deteksi tersebut mengakibatkan CB bekerja untuk melepas *photovoltaic* dari beban.

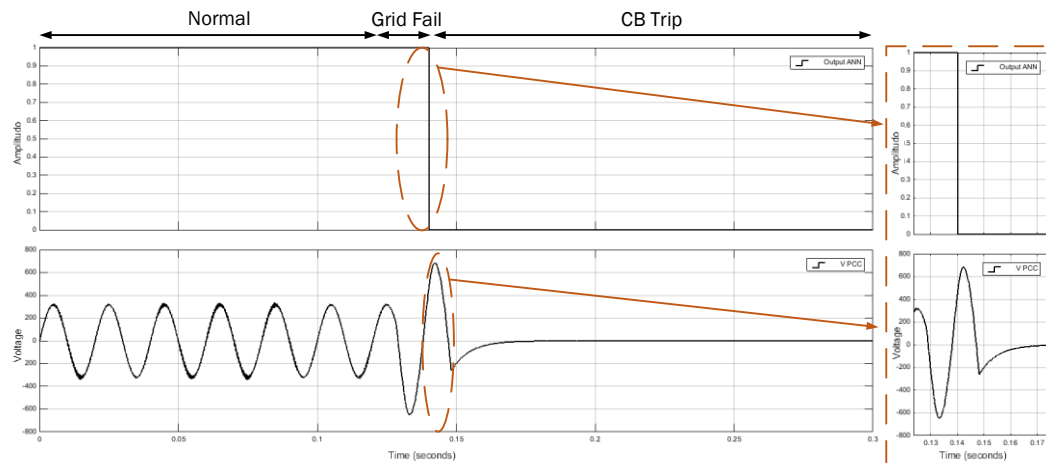


Gambar 4.13 (a) Daya *grid* (b) Daya *Photovoltaic* (c) Daya Beban pada Kondisi *Overvoltage*, Beban Kapasitif

Pada Gambar 4.13 terlihat untuk kondisi sebelum *islanding*, *inverter* memproduksi daya sebesar 4000 VA dan daya yang dikonsumsi beban sebesar 2000 Watt. Kelebihan daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dikirim pada *grid* sebesar 2500 VA. Setelah terjadi kondisi *islanding* pada detik 0,12, akibat dari kelebihan daya *inverter* maka tegangan keluaran menjadi naik. Akibat kondisi tersebut ANN mendeteksi kondisi *islanding* sistem dan memutus *photovoltaic* dengan beban pada detik 0,16.

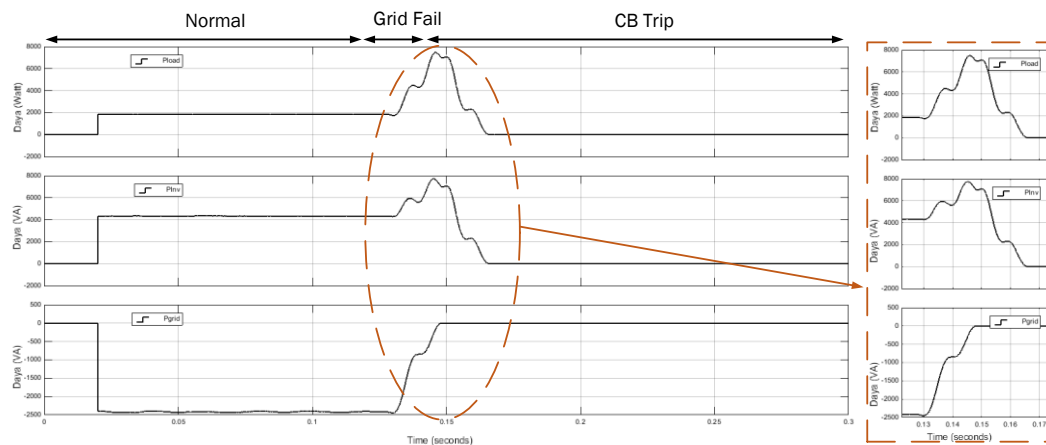
#### 4.2.2.2.3 Induktif

Pada simulasi ini, sifat beban yang digunakan adalah induktif dengan  $\cos \phi$  0,9 nilai dari resistor yang digunakan sebesar  $27,5 \Omega$  dan nilai induktor sebesar  $180,82 \mu\text{F}$ . Hasil simulasi akan dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 (a) Hasil Deteksi *Islanding* ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi *Overvoltage*, Beban Induktif

Dari hasil simulasi pada Gambar 4.14 terlihat terjadi perubahan amplitudo dari 311 volt menjadi 700 volt. Waktu deteksi kondisi *islanding* pada simulasi kondisi beban induktif lebih cepat jika dibandingkan sifat beban kapasitif yaitu detik 0,14. Hasil deteksi tersebut mengakibatkan CB bekerja untuk melepas *photovoltaic* dari beban.



Gambar 4. 15 (a) Daya *grid* (b) Daya *Photovoltaic* (c) Daya Beban pada Kondisi *Overvoltage*, Beban Induktif

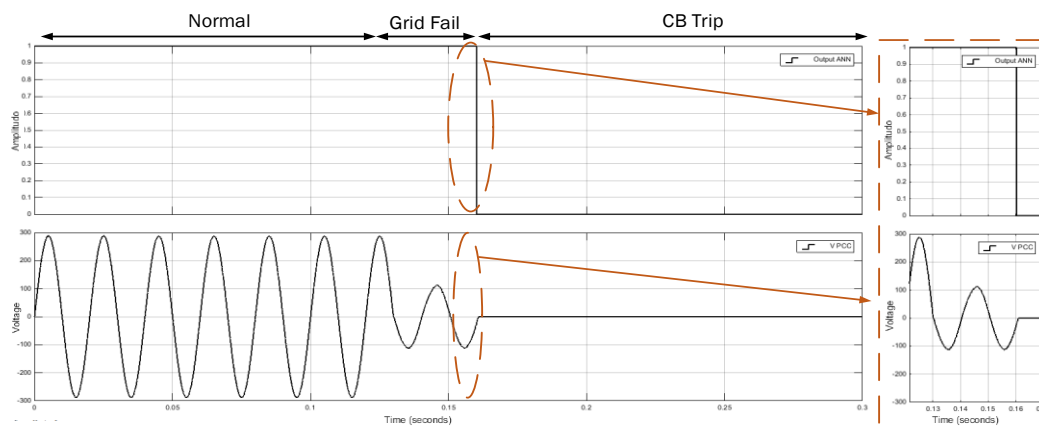
Pada Gambar 4. 15 terlihat *inverter* memproduksi daya sebesar 4000 VA dan daya yang dikonsumsi beban sebesar 2000 Watt. Kondisi tersebut sama seperti pada sifat beban bersifat kapasitif. ANN mendeteksi kondisi *islanding* sistem dan memutus *photovoltaic* dengan beban pada detik 0,14.

#### 4.2.2.3 Kondisi Undervoltage

Hasil simulasi yang akan ditampilkan pada *undervoltage* terbagi menjadi tiga bagian yaitu beban bersifat resistif, kapasitif dan induktif. Akan dijelaskan sebagai berikut.

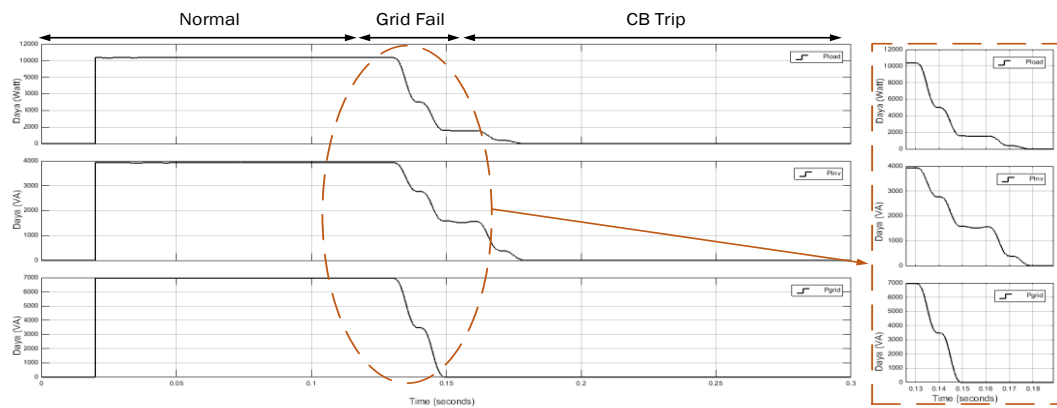
##### 4.2.2.3.1 Beban Resistif

Pada simulasi ini, sifat beban yang digunakan adalah resistif dengan  $\cos \phi$  1 nilai dari resistor yang digunakan sebesar  $4,4 \Omega$ . Hasil simulasi akan dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 (a) Hasil Deteksi *Islanding* ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi *Undervoltage*, Beban Resistif

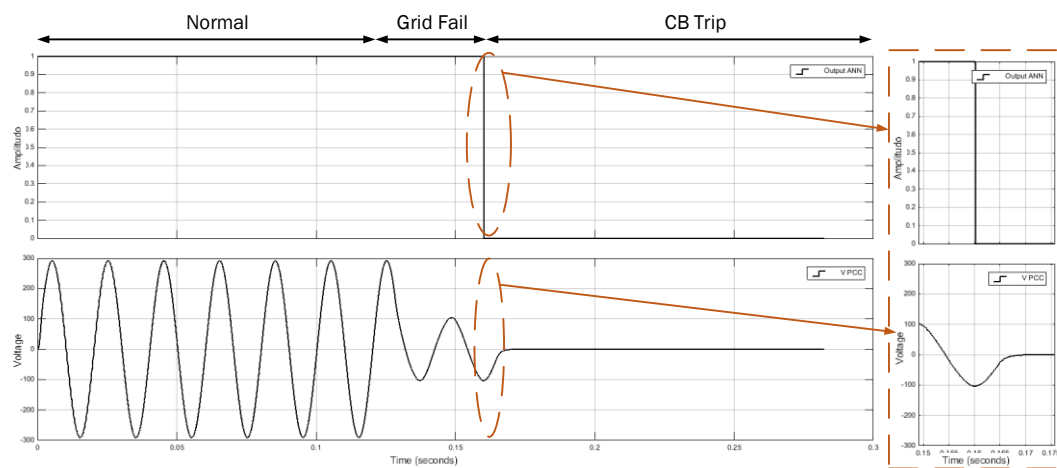
Dari hasil simulasi pada Gambar 4.16 terlihat terjadi perubahan amplitudo dari 311 volt menjadi 110 volt. Hal tersebut jika berlangsung lama tentu dapat merusak *photovoltaic*. Pada siklus kedua yaitu detik 0,16 metode ANN dapat mendeteksi kondisi *islanding* sistem sehingga CB bekerja.



Gambar 4. 17 (a) Daya *grid* (b) Daya *Photovoltaic* (c) Daya Beban pada Kondisi *Undervoltage*, Beban Resistif

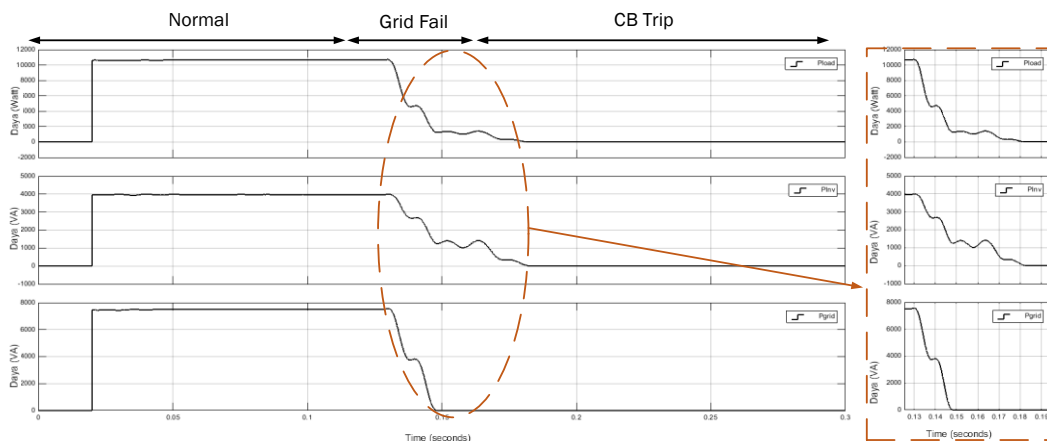
#### 4.2.2.3.2 Kapasitif

Pada simulasi ini, sifat beban yang digunakan adalah kapasitif dengan  $\cos \phi$  0,9 nilai dari resistor yang digunakan sebesar  $4,4 \Omega$  dan nilai kapasitor sebesar  $350,55 \mu\text{F}$ . Hasil simulasi akan dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 (a) Hasil Deteksi *Islanding* ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi *Undervoltage*, Beban Kapasitif

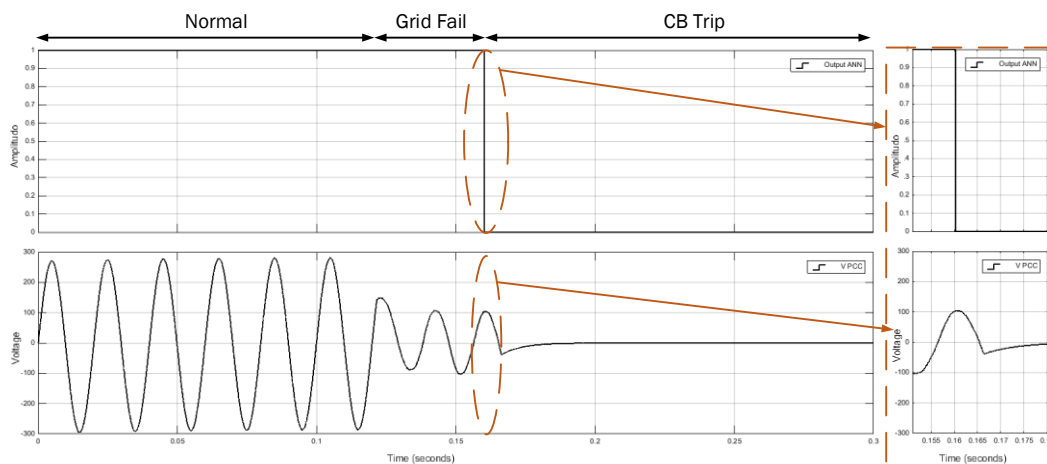
Dari hasil simulasi pada Gambar 4.18 terlihat terjadi perubahan amplitudo dari 311 volt menjadi 110 volt. Kondisi tersebut sama seperti pada sifat beban resistif. Pada siklus kedua yaitu detik 0,16 metode ANN dapat mendeteksi kondisi *islanding* sistem. Hasil deteksi tersebut mengakibatkan CB bekerja untuk melepas *photovoltaic* dari beban.



Gambar 4. 19 (a) Daya *grid* (b) Daya *Photovoltaic* (c) Daya Beban pada Kondisi *Undervoltage*, Beban Kapasitif

#### 4.2.2.3.3 Induktif

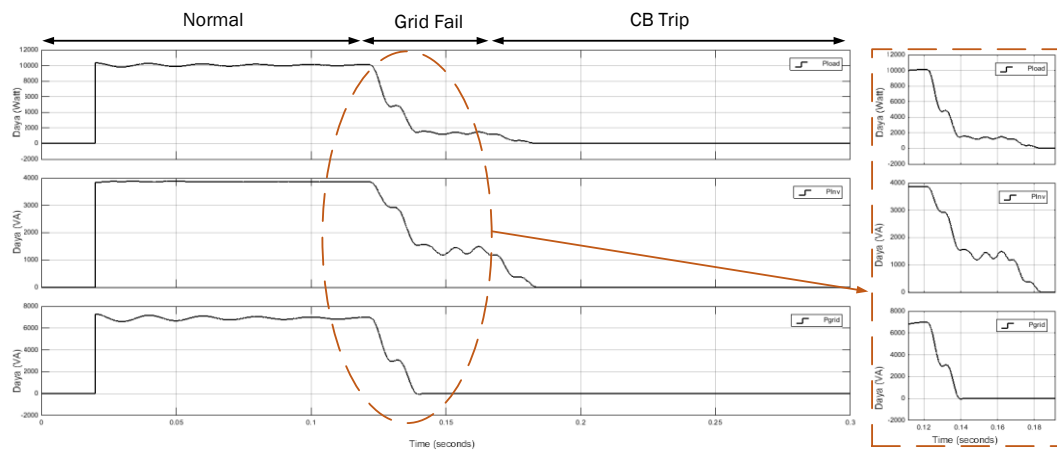
Pada simulasi ini, sifat beban yang digunakan adalah induktif dengan  $\cos \phi$  0,9 nilai dari resistor yang digunakan sebesar  $4,4 \Omega$  dan nilai induktor sebesar  $28,93 \mu\text{F}$ . Hasil simulasi akan dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 (a) Hasil Deteksi *Islanding* ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi *Undervoltage*, Beban Induktif

Dari hasil simulasi pada Gambar 4.20 terlihat terjadi perubahan amplitudo dari 311 volt menjadi 110 volt. Kondisi tersebut sama seperti pada sifat beban resistif. Pada siklus kedua yaitu detik 0,16 metode ANN dapat mendeteksi kondisi *islanding* sistem. Hasil deteksi tersebut mengakibatkan CB bekerja untuk melepas *photovoltaic* dari beban.

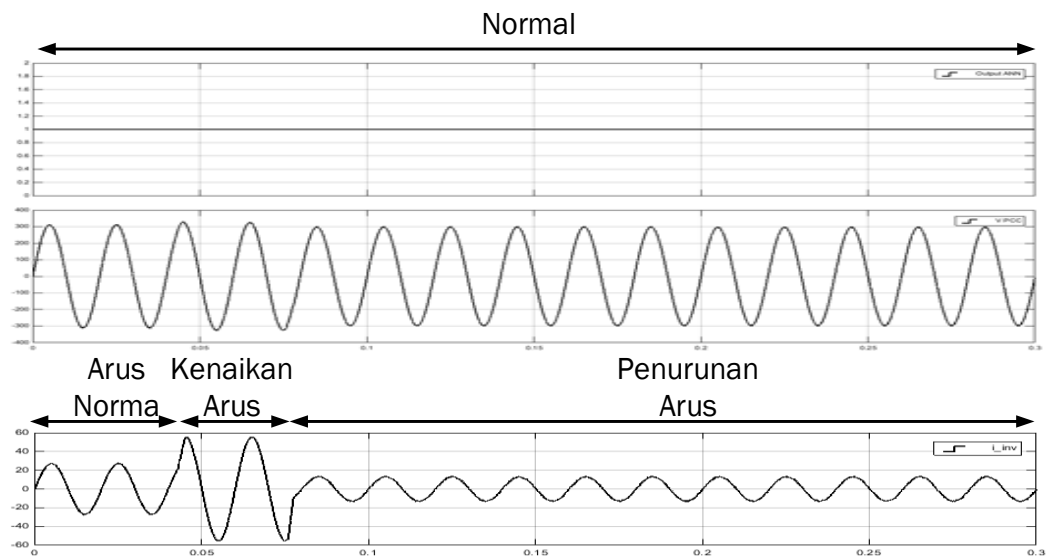




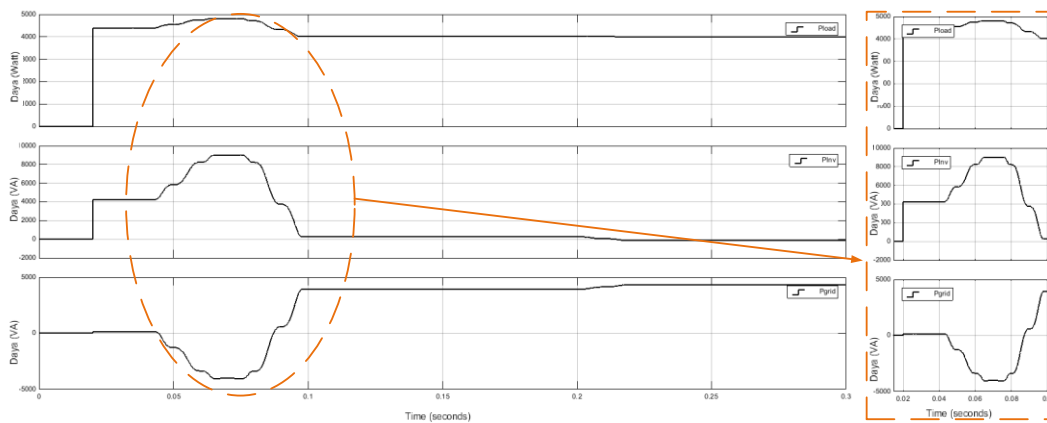
Gambar 4. 21 (a) Daya *grid* (b) Daya *Photovoltaic* (c) Daya Beban pada Kondisi *Undervoltage*, Beban Induktif

#### 4.2.2.4 Kondisi Perubahan Daya Inverter

Pada simulasi ini, sifat beban yang digunakan adalah resistif dengan faktor daya 1 dan nilai resistor yang digunakan sebesar  $11 \Omega$ . Kondisi sistem adalah *powermatch*. Simulasi dilakukan merubah besaran daya yang diproduksi oleh *photovoltaic* dengan cara merubah nilai arus keluaran *inverter*. Hasil simulasi akan dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 (a) Hasil Deteksi *Islanding* ANN (b) Hasil Pengukuran Tegangan pada Titik PCC Kondisi Perubahan Daya *Inverter* (c) Hasil Pengukuran Arus *Inverter*



Gambar 4.23 (a) Daya *grid* (b) Daya *Photovoltaic* (c) Daya Beban pada Kondisi Perubahan Daya Pada *Inverter*

Pada Gambar 4.22 ANN tidak mendeteksi adanya kondisi *islanding* pada sistem. Pada Gambar 4.23 terlihat terjadi dua kali perubahan daya yang diproduksi oleh *inverter* yaitu pada detik 0,043 dan detik 0,076.

### 4.3 Rangkuman

Berikut adalah hasil simulasi seluruh kondisi beban dengan gangguan *islanding* atau lepasnya pembangkit utama (*grid*) dari sistem akan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Kondisi *Powermatch*

Kondisi	Sifat Beban	cos phi	Waktu Deteksi (s)
<i>Powermatch</i>	Resistif	1	0,24042
	Kapasitif	0.65	0,16026
		0.7	0,16026
		0.75	0,16026
		0.8	0,16026
		0.85	0,16026
		0.9	0,16026
	Induktif	0.65	0,16026
		0.7	0,16026
		0.75	0,16026
		0.8	0,16026
		0.85	0,16026
		0.9	0,16026

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Kondisi *Overvoltage*

Kondisi	Sifat Beban	cos phi	Waktu Deteksi (s)
<i>Over Voltage</i>	Resistif	1	0,14022
	Kapazitif	0.65	0,16026
		0.7	0,16026
		0.75	0,16026
		0.8	0,16026
		0.85	0,16026
		0.9	0,16026
	Induktif	0.65	0,14022
		0.7	0,14022
		0.75	0,14022
		0.8	0,14022
		0.85	0,14022
		0.9	0,14022

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Kondisi *Undervoltage*

Kondisi	Sifat Beban	cos phi	Waktu Deteksi (s)
<i>Under Voltage</i>	Resistif	1	0,16026
	Kapazitif	0.65	0,16026
		0.7	0,16026
		0.75	0,16026
		0.8	0,16026
		0.85	0,16026
		0.9	0,16026
	Induktif	0.65	0,16026
		0.7	0,16026
		0.75	0,16026
		0.8	0,16026
		0.85	0,16026
		0.9	0,16026

Dapat dilihat pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3 waktu deteksi tercepat dengan menggunakan ANN adalah pada kondisi beban *overvoltage* yaitu sebesar 0,14 s, sedangkan waktu deteksi terlama pada kondisi beban *powermatch* dengan nilai sebesar 0,24 s.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sistem deteksi menggunakan *Artificial Neural Network (ANN)* adalah sebagai berikut:

1. ANN dapat mendeteksi kondisi *islanding* secara *online* pada sistem.
2. ANN dapat mendeteksi semua kondisi beban (*powermatch*, *overvoltage* dan *undervoltage*).
3. Waktu untuk mendeteksi kondisi *islanding* setelah terjadi *grid fail* adalah 0,14 - 0,24 detik.

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Pengujian ANN pada kondisi beban lain seperti mengatur daya aktif dan reaktif.
2. Penerapan metode ANN untuk deteksi *islanding* pada *hardware*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Intelligent-Based Approach to Islanding Detection in Distributed Generation - IEEE Xplore Document.” [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4141116/>. [Accessed: 07-May-2017].
- [2] P. K. Dash, M. Padhee, and S. K. Barik, “Estimation of power quality indices in distributed generation systems during power islanding conditions,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 36, no. 1, pp. 18–30, Mar. 2012.
- [3] *IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2003.
- [4] J. C. M. Vieira, W. Freitas, Wilsun Xu, and A. Morelato, “An Investigation on the Nondetection Zones of Synchronous Distributed Generation Anti-Islanding Protection,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 23, no. 2, pp. 593–600, Apr. 2008.
- [5] K. El-Arroudi, G. Joos, I. Kamwa, and D. T. McGillis, “Intelligent-Based Approach to Islanding Detection in Distributed Generation,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 22, no. 2, pp. 828–835, Apr. 2007.
- [6] C. S. Chandrakar, B. Dewani, and D. Chandrakar, “AN ASSESSMENT OF DISTRIBUTED GENERATION ISLANDING DETECTION METHODS,” vol. 5, no. 1, p. 9.
- [7] A. Samui and S. R. Samantaray, “Wavelet Singular Entropy-Based Islanding Detection in Distributed Generation,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 28, no. 1, pp. 411–418, Jan. 2013.
- [8] R. Ghazi and N. Lotfi, “A new hybrid intelligent based approach to islanding detection in distributed generation,” in *45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010*, 2010, pp. 1–5.
- [9] A. Rajabi-Ghahnavie, M. Parniani, and M. Fotuhi-Firuzabad, “Investigating the effects of reactive power on islanding detection,” 2004, vol. 2, pp. 1067–1071.
- [10] T. Funabashi, K. Koyanagi, and R. Yokoyama, “A review of islanding detection methods for distributed resources,” 2003, vol. 2, pp. 608–613.
- [11] teguh utomo, “Kajian kelayakan sistem photovoltaik sebagai pembangkit daya listrik skala rumah tangga (studi kasus di gedung VEDC malang),” *EECCIS*, pp. 13–14, 2009.

- [12] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, and F. Blaabjerg, "A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 41, no. 5, pp. 1292–1306, Oct. 2005.
- [13] N. Vázquez and J. V. López, "11 - Inverters A2 - Rashid, Muhammad H.," in *Power Electronics Handbook (Fourth Edition)*, Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 289–338.
- [14] Y. Jung, J. Choi, B. Yu, J. So, G. Yu, and J. Choi, "A Novel Active Frequency Drift Method of Islanding Prevention for the grid-connected Photovoltaic Inverter," 2005, pp. 1915–1921.
- [15] J. A. Laghari, H. Mokhlis, M. Karimi, A. H. A. Bakar, and H. Mohamad, "Computational Intelligence based techniques for islanding detection of distributed generation in distribution network: A review," *Energy Convers. Manag.*, vol. 88, pp. 139–152, Dec. 2014.
- [16] Dayhoff, Judith E, *Neural Network Architectures*. USA: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [18] J. A. Laghari, H. Mokhlis, M. Karimi, A. H. A. Bakar, and H. Mohamad, "Computational Intelligence based techniques for islanding detection of distributed generation in distribution network: A review," *Energy Conversion and Management*, vol. 88, pp. 139–152, Dec. 2014.



## **LAMPIRAN**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **DAFTAR INDEX**